ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ

ПОСТОЯННАЯ ЧАСТЬ

ИЗДАНИЕ СЕДЬМОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ

Ответственный редактор
В. К. АБАЛАКИН

Редакционная коллегия:
В. А. БРОНШТЭН, М. М. ДАГАЕВ,
Э. В. КОНОНОВИЧ, П. Г. КУЛИКОВСКИЙ



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1981

22.6
А 91
УДК 521 (058)

АСТРОНОМИЧЕСКИЙ КАЛЕНДАРЬ
Постоянная часть

Под редакцией *Виктора Кузьмича Абалакина*

ИБ № 11923

Редактор *Г. С. Куликов* Техн. редактор *И. Ш. Аксельрод*
Корректор *Е. А. Белицкая*

Сдано в набор 03.02.81. Подписано к печати 25.11.81. Т-27778.
Формат $60 \times 90^1/_{16}$. Бумага тип. № 1. Литературная гарнитура. Высокая печать.
Усл. печ. л. 44 + вкладка 1,5 + 2 вклейки 0,38. Уч.-изд. л. 57,14.
Тираж 33 000 экз. Заказ № 473. Цена книги 3 р. 30 к.

Издательство «Наука» Главная редакция физико-математической литературы
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени
Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой
Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.

193144, г. Ленинград, ул. Моисеенко, 10

А $\frac{20600-140}{053\ (02)\text{-}81}$ 181-81. 1705000000

СОДЕРЖАНИЕ

Таблицы

ПРЕДИСЛОВИЕ К СЕДЬМОМУ ИЗДАНИЮ

Постоянная часть Астрономического Календаря Всесоюзного астрономо-геодезического общества является справочником и руководством для любителей астрономии при пользовании таблицами Переменной части Календаря, а также при обработке астрономических наблюдений, которые могут быть выполнены самими любителями.

В седьмом издании Постоянной части сохранена структура книги шестого издания. Содержание отдельных глав и параграфов в основном также осталось прежним. Сделаны лишь необходимые исправления ошибок и неточностей шестого издания и обновлено изложение некоторых вопросов на основе данных современной науки. Серьезной переработке подверглись только § 19 гл. IV и § 10 гл. V. В отделе «Таблицы» в очень многих таблицах заменены числовые данные, некоторые таблицы сокращены, ряд таблиц исключен. Заново составлена таблица 26 (каталог звезд). В «Приложения» добавлены списки звезд электрофотометрического стандарта и международные коды для наблюдений искусственных спутников Земли.

Авторами седьмого издания являются 27 человек: И. С. Астапович, П. И. Бакулин, В. А. Бронштэн, О. Б. Васильев, С. К. Всехсвятский, Н. И. Гришин, М. М. Дагаев, И. Т. Зоткин, Э. В. Кононович, Е. Н. Крамер, Е. Л. Кринов, Р. В. Куницкий, П. Г. Куликовский, Н. Е. Курочкин, В. И. Курышев, Ю. А. Медведев, А. А. Нефедьев, С. Б. Новиков, Ю. А. Рябов, Н. Н. Сытинская, А. К. Терентьева, Я. И. Фельдштейн, В. П. Цесевич, К. И. Чурюмов, В. Ф. Чистяков, М. И. Шпекин, Б. М. Щиголев.

В содержании после названия каждого параграфа или названия главы (если она написана одним лицом) указана фамилия автора. В составлении отделов «Таблицы» и «Приложения» принимали участие К. И. Чурюмов (таблица 7), И. С. Астапович и А. К. Терентьева (таблица 8), Е. Н. Крамер (таблица 9), Ю. А. Медведев (фотометрические стандарты), В. И. Курышев (Международные коды наблюдений ИСЗ). Остальные таблицы и Приложения подготовлены П. Г. Куликовским.

Кураторами и редакторами отдельных глав или параграфов являются: П. И. Бакулин (гл. I, II и Добавление к гл. I и II),

В. А. Бронштэн (гл. V, §§ 1, 2, 3, 6, 7, 10, 12), М. М. Дагаев (гл. V, §§ 3, 4, 8, 9, 11, 13), Э. В. Кононович (гл. III и IV), П. Г. Куликовский («Таблицы» и «Приложения»).

Списки литературы, которыми обычно заканчивались инструкции для наблюдений в шестом издании, в настоящем издании сохранены. Рекомендуемая литература по общим или фундаментальным вопросам астрономии приведена в следующем списке:

1. *П. И. Бакулин, Э. В. Кононович, В. И. Мороз.* Курс общей астрономии.— 4-е изд., испр. и доп. — М.: Наука, 1977.
2. *Д. Я. Мартынов.* Курс общей астрофизики. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1979.
3. *Д. Я. Мартынов.* Курс практической астрофизики. — 3-е изд., перераб. — М.: Наука, 1977.
4. *А. А. Михайлов.* Теория затмений. — 2-е изд. — М.: Гостехиздат, 1954.
5. *Н. И. Идельсон.* Способ наименьших квадратов. — М.; Л.: ОНТИ, 1932.
6. *Б. М. Щиголев.* Математическая обработка наблюдений. — 3-е изд. — М.: Наука, 1969.
7. *Н. П. Барабашов.* Природа небесных тел и их наблюдение. — Харьков: Изд. ХГУ, 1969.
8. *Н. Н. Сытинская.* Абсолютная фотометрия протяженных небесных объектов. — Л.: Изд. ЛГУ, 1948.
9. *В. П. Цесевич.* Что и как наблюдать на небе. — 5-е изд., перераб. — М.: Наука, 1979.
10. *П. Г. Куликовский.* Справочник любителя астрономии. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1971.
11. *М. М. Дагаев.* Лабораторный практикум по курсу общей астрономии. — 2-е изд. — М.: Высшая школа, 1972.
12. Практические работы по звездной астрономии/Под ред. П. Г. Куликовского. — М.: Наука, 1971.
13. *А. А. Михайлов.* Звездный атлас (до 5,5 звездной величины). — 4-е изд. — М.: Наука, 1965.
14. *А. А. Михайлов.* Звездный атлас (до 8,5 звездной величины). — 3-е изд. — М.: Наука, 1969.
15. *А. А. Михайлов.* Атлас звездного неба (20 карт со звездами до 6,5 величины). — Л.: Наука, 1974.
16. *А. Бечварж.* Атлас неба 1950, 0 (Atlas Coeli 1950,0). — Прага, 1957.

Кроме того, в Переменной части Астрономического Календаря ежегодно публикуется достаточно обширная библиография астрономической литературы специально для любителей астрономии.

Глава I

ЭЛЕМЕНТЫ СФЕРИЧЕСКОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

§ 1. Географические координаты

Тот диаметр Земли, вокруг которого она вращается, называется *осью вращения* Земли.

Ось вращения пересекает поверхность Земли в двух точках: в *северном полюсе* N и *южном полюсе* S (рис. 1). Северный полюс тот, со стороны которого вращение Земли происходит п р о т и в ч а с о в о й с т р е л к и.

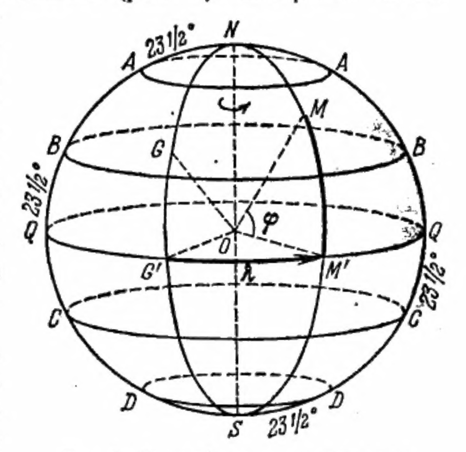


Рис. 1. Географические координаты.

Большой круг на поверхности Земли ($QG'M'Q$), плоскость которого перпендикулярна к оси вращения, называется *земным экватором*. Земной экватор делит поверхность Земли на два полушария: северное (с северным полюсом N) и южное (с южным полюсом S).

Малые круги, параллельные земному экватору, называются *географическими параллелями*. Географическая параллель (BB), отстоящая на $23^1/_2°$ к северу от экватора, называется *северным тропиком*, параллель (CC), отстоящая на $23^1/_2°$ к югу от экватора, — *южным тропиком*. Географические параллели, отстоящие на $23^1/_2°$ от полюсов, называются *полярными кругами — северным* (AA) и *южным* (DD).

Большой полукруг ($NMM'S$), проходящий через полюсы Земли и через точку M на ее поверхности, называется *меридианом* точки M.

Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию, главную обсерваторию Англии, считается *нулевым* или *начальным меридианом*.

Нулевой меридиан и меридиан, отстоящий от нулевого на 180°, делят поверхность Земли на два полушария: *восточное* и *западное*.

Прямая линия OM, совпадающая с направлением нити отвеса в данной точке Земли, называется *отвесной линией*.

Положение точки на земной поверхности определяется двумя географическими координатами: *широтой* φ и *долготой* λ (или *l*).

Географической широтой точки *M* называется угол (*M'OM*) между плоскостью земного экватора и отвесной линией, проходящей через точку *M*. Географические широты отсчитываются от экватора от 0 до +90° (северная широта), если точки лежат в северном полушарии, и от 0 до —90° (южная широта), если точки лежат в южном полушарии Земли. *Географической долготой* точки *M* называется двугранный угол (*GNM*) между плоскостями начального меридиана и меридиана, проходящего через точку *M*.

Географические долготы отсчитываются к востоку от начального меридиана, т. е. в сторону вращения Земли, в пределах от 0 до 360° (в градусной мере), или от 0 до 24 часов (в часовой мере). Иногда долготы отсчитываются от 0 до +180° (от 0 до +12 часов) к востоку (восточная долгота) и от 0 до —180° (от 0 до —12 часов) к западу (западная долгота) от Гринвича.

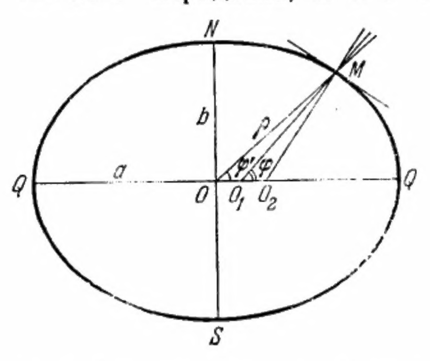


Рис. 2. Различные виды географической широты (для наглядности сжатие преувеличено).

При решении многих задач можно считать, что Земля представляет собой однородный шар. В этом случае направление отвесной линии в любой точке земной поверхности пройдет через центр Земли и совпадет с ее радиусом. Тогда географическая широта точки *M* может быть измерена дугой меридиана (*MM'*), а географическая долгота — дугой экватора (*G'M*).

Вследствие вращения вокруг оси Земля в действительности несколько сплюснута у полюсов и имеет форму *эллипсоида вращения*, малая ось которого совпадает с осью вращения. В этом случае направление отвесной линии не для всех точек земной поверхности будет проходить через центр Земли *O* (рис. 2), а будет пересекать плоскость земного экватора в некоторой другой точке O_1, не совпадая с радиусом-вектором ρ, т. е. с прямой *OM*, соединяющей центр эллипсоида и точку *M*.

Вследствие неоднородности распределения масс в области данной точки отвесная линия O_1M может также не совпадать и с нормалью (O_2M) к поверхности эллипсоида, т. е. с перпендикуляром к касательной плоскости в данной точке Земли. Принимая Землю за эллипсоид вращения с неоднородным распределением масс, необходимо для каждой точки на поверхности Земли различать три вида географической широты: 1) астрономическую, 2) геоцентрическую и 3) геодезическую.

Астрономической (или *географической*) *широтой* φ называется угол (MO_1Q) между плоскостью земного экватора и отвесной линией в данной точке.

Геоцентрической широтой φ′ называется угол (MOQ) между плоскостью земного экватора и радиусом-вектором точки.

Геодезической широтой (обозначения не имеет) называется угол (MO_2Q) между плоскостью земного экватора и нормалью к эллипсоиду в данной точке.

Непосредственно из астрономических наблюдений измеряется только астрономическая широта. Из геодезических измерений определяется *уклонение отвеса* в данной точке, т. е. несовпадение отвесной линии с нормалью к эллипсоиду, которое и дает затем возможность из астрономической широты получить геодезическую. Однако отклонение отвеса, как правило, меньше 3″ (исключая аномальные места), и в астрономических задачах им пренебрегают и не делают различия между астрономической и геодезической широтами.

Геоцентрическая широта φ′ вычисляется по формуле

$$\varphi' = \varphi - \frac{1}{2}\left(e^2 + \frac{1}{2}e^4\right)206\,265''\sin 2\varphi + \frac{1}{8}e^4\,206\,265''\sin 4\varphi, \quad (1.1)$$

где φ — астрономическая (точнее, геодезическая) широта,

$$e = \sqrt{2\alpha - \alpha^2},$$

где α — сплюснутость Земли.

Радиус-вектор ρ вычисляется по формуле

$$\frac{\rho}{a} = 1 - \frac{1}{2}(1 - e^2)e^2\sin^2\varphi - \frac{5}{8}e^4\sin^4\varphi, \quad (1.2)$$

где φ и e имеют те же значения, что и в формуле (1.1), а a — экваториальный радиус Земли.

Международный астрономический союз (МАС) в 1976 г. принял следующие значения элементов земного эллипсоида:

$$a = 6\,378140 \text{ м}, \quad b = 6\,356755 \text{ м}, \quad \alpha = 1 : 298{,}257. \quad (1.3)$$

С принятым значением α получим $e^2 = 0{,}006694$, $e^4 = 0{,}000045$, а формулы (1.1) и (1.2) будут иметь вид

$$\varphi' = \varphi - 692'',74\sin 2\varphi + 1'',16\sin 4\varphi, \quad (1.4)$$

$$\frac{\rho}{a} = 1 - 0{,}003325\sin^2\varphi - 0{,}000028\sin^4\varphi. \quad (1.5)$$

Разность между геоцентрической и астрономической широтами не превышает 12′. На полюсах и на экваторе Земли эта разность равна нулю.

В отделе «Таблицы» дана табл. 23 для перехода от астрономической широты к геоцентрической и для вычисления $\frac{\rho}{a}$.

§ 2. Небесная сфера

Сфера произвольного радиуса с центром, помещенным в произвольной точке пространства, называется *небесной сферой.*

Прямая ZOZ' (рис. 3), проходящая через центр небесной сферы и параллельная или совпадающая с направлением нити отвеса в данной точке Земли, называется *отвесной* или *вертикальной линией.*

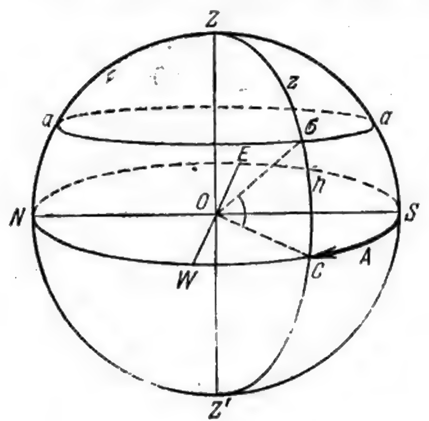


Рис. 3. Горизонтальная система координат.

Отвесная линия пересекается с поверхностью небесной сферы в двух точках: в *зените* (Z) — над головой наблюдателя и в прямо противоположной точке — *надире* (Z').

Большой круг небесной сферы ($SWNE$), плоскость которого перпендикулярна к отвесной линии, называется *математическим*, или *истинным горизонтом.* Математический горизонт делит поверхность небесной сферы на две половины: видимую для наблюдателя, с зенитом Z, и невидимую, с надиром Z'.

Малый круг небесной сферы ($a\sigma a$), параллельный математическому горизонту и проходящий через светило σ, называется *альмукантаратом* светила.

Большой полукруг небесной сферы $Z\sigma Z'$, проходящий через зенит, светило σ и надир, называется *кругом высоты, вертикальным кругом*, или просто *вертикалом* светила.

Диаметр $\mathscr{P}O\mathscr{P}'$ (рис. 4), вокруг которого происходит кажущееся вращение небесной сферы, называется *осью мира.* Ось мира пересекается с поверхностью небесной сферы в двух точках: в *северном полюсе мира* $\mathscr{P}$ и *южном полюсе мира* $\mathscr{P}'$. Северный полюс тот, со стороны которого кажущееся вращение небесной сферы происходит по ч а с о в о й с т р е л к е, если смотреть на сферу снаружи.

Рис. 4. Экваториальная система координат.

Большой круг небесной сферы $AWA'E$, плоскость которого перпендикулярна к оси мира, называется *небесным экватором.*

Небесный экватор делит поверхность небесной сферы на два полушария: северное, с северным полюсом мира $\mathscr{P}$, и южное, с южным полюсом мира $\mathscr{P}'$.

Малый круг небесной сферы ($b\sigma b$), параллельный небесному экватору и проходящий через светило σ, называется *небесной параллелью*, или *суточной параллелью* светила.

Большой полукруг небесной сферы $\mathscr{P}\sigma\mathscr{P}'$, проходящий через полюсы мира и через светило σ, называется *часовым кругом*, или *кругом склонения* светила.

Небесный экватор пересекается с математическим горизонтом в двух точках: в *точке востока* E и в *точке запада* W.

Большой круг небесной сферы $SAZ\mathscr{P}NA'Z'\mathscr{P}'$, плоскость которого проходит через отвесную линию и ось мира, называется *небесным меридианом*.

Небесный меридиан делит поверхность небесной сферы на два полушария: восточное с точкой востока E и западное с точкой запада W.

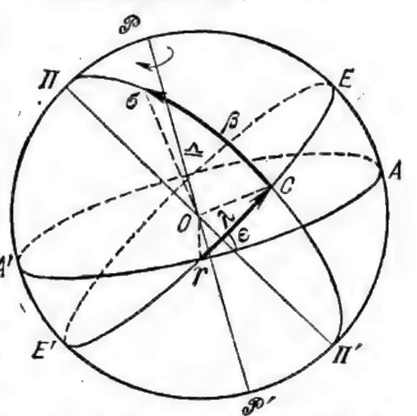


Рис. 5. Эклиптическая система координат.

Небесный меридиан пересекается с математическим горизонтом в двух точках: в *точке севера* N и в *точке юга* S. Точкой севера называется та, которая ближе к северному полюсу мира, точкой юга — ближняя к южному полюсу мира.

Небесный меридиан пересекается с небесным экватором в двух точках: в верхней точке экватора A, которая ближе к зениту Z, и в нижней точке экватора A', которая ближе к надиру Z'.

Плоскости небесного меридиана и математического горизонта пересекаются по прямой NS, которая называется *полуденной линией*.

Дуга небесного меридиана $\mathscr{P}ZAS\mathscr{P}'$ является верхней частью меридиана, а дуга $\mathscr{P}NA'Z'\mathscr{P}'$ — нижней.

Большой круг (рис. 5) небесной сферы $E\Upsilon E'\Omega$, плоскость которого наклонена к плоскости небесного экватора под углом ε, называется *эклиптикой*. Угол ε для 1981,0 *) года равен 23°26′30″,31. Две точки небесной сферы, отстоящие на 90° от всех точек эклиптики, называются *северным полюсом эклиптики* Π (в северном полушарии) и *южным полюсом эклиптики* Π′ (в южном полушарии).

---

*) 1981,0 обозначает эпоху (момент) начала тропического (или бесселева) года, когда долгота Солнца равна точно 280°, и соответствует дате 1981, январь 0,4314, т. е. 1980, декабрь 31, 10 ч 21 м 13 с эфемеридного времени.

По эклиптике происходит **видимое годичное движение Солнца** на фоне звезд в направлении, **обратном** суточному вращению небесной сферы.

Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух точках: в точке *весеннего равноденствия* ♈ и в точке *осеннего равноденствия* ♎. Точка весеннего равноденствия та, в которой Солнце пересекает небесный экватор, переходя из южного полушария небесной сферы в северное. В точке осеннего равноденствия Солнце переходит из северного полушария в южное.

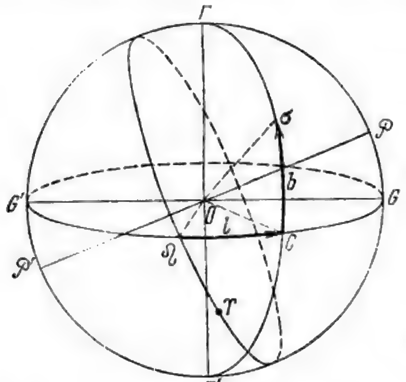


Рис. 6. Галактическая система координат.

Точки эклиптики, отстоящие от равноденственных на 90°, называются: точкой *летнего солнцестояния* (в северном полушарии) и точкой *зимнего солнцестояния* (в южном полушарии).

Большой полукруг небесной сферы ПσП′, проходящий через полюсы эклиптики и через светило σ, называется *кругом широты* светила.

Большой круг (рис. 6) небесной сферы $G☊G'$, наиболее близкий к средней линии Млечного Пути, называется *галактическим экватором*. Положение галактического экватора задается экваториальными координатами (см. ниже, § 8) его северного полюса Г, т. е. точки, отстоящей на 90° от всех точек галактического экватора и находящейся в северном полушарии небесной сферы. Диаметрально противоположная точка небесной сферы Г′ называется южным галактическим полюсом. Большой полукруг небесной сферы ГσСГ′, проходящий через галактические полюсы и через светило σ, называется *кругом галактической широты* светила.

Точка пересечения небесного экватора с галактическим экватором, где Млечный Путь переходит из южного полушария в северное, если при этом идти против часовой стрелки и смотреть с северного галактического полюса, называется *восходящим узлом* ☊ галактического экватора на небесном экваторе.

§ 3. Системы небесных координат

а) **Горизонтальная система.** Угловое расстояние по вертикальному кругу $C\sigma$ (рис. 3) от математического горизонта до светила, или центральный угол $CO\sigma$, называется *высотой* светила над горизонтом.

Высота обозначается буквой h и отсчитывается от 0 до +90° к зениту (светило находится в видимой части небесной сферы) и

от 0 до —90° к надиру (светило находится в невидимой части небесной сферы).

Угловое расстояние по вертикальному кругу $Z\sigma$ от зенита до светила, или центральный угол $ZO\sigma$, называется *зенитным расстоянием* светила.

Зенитные расстояния обозначаются буквой z и отсчитываются от 0 до 180° к надиру. Светила, находящиеся в видимой части небесной сферы, имеют $z < 90°$, а в невидимой части $z > 90°$.

Между зенитным расстоянием и высотой одного и того же светила всегда справедливо соотношение

$$z + h = 90°. \tag{1.6}$$

Положение светила на вертикальном круге может быть задано либо зенитным расстоянием, либо высотой.

Светила, находящиеся на одном альмукантарате, имеют одинаковые высоты и одинаковые зенитные расстояния.

Угловое расстояние по математическому горизонту SC от точки юга S до вертикального круга, проходящего через светило, или центральный угол SOC, называется *азимутом* светила.

Азимуты обозначаются буквой A или a и отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы, т. е. в сторону запада от 0 до 360°. Иногда азимуты отсчитываются от 0 до +180° к западу (*западные* азимуты), и от 0 до —180° к востоку (*восточные* азимуты).

Светила, находящиеся на одном вертикальном круге, имеют одинаковые азимуты.

В геодезии азимуты отсчитываются от точки севера N либо от 0 до 360° в сторону востока, либо от 0 до +180° *восточные* и от 0 до —180° *западные* азимуты. Так отсчитываемые азимуты называются *геодезическими*, в отличие от *астрономических* азимутов, отсчитываемых от точки юга. Между геодезическим азимутом A' и астрономическим A существует простое соотношение

$$A' = A \pm 180°. \tag{1.7}$$

Знак «плюс» берется для $A < 180°$, или для отрицательных (восточных) A, минус — для $A > 180°$, или положительных (западных) A.

б) Первая экваториальная система. Угловое расстояние по часовому кругу $C\sigma$ (см. рис. 4) от небесного экватора до светила, или центральный угол $CO\sigma$, называется *склонением* светила. Склонения обозначаются буквой δ и отсчитываются от 0 до +90° к северному полюсу мира (светило находится в северном полушарии) и от 0 до —90° к южному полюсу (светило находится в южном полушарии).

Угловое расстояние по часовому кругу $P\sigma$, от северного полюса мира до светила, или центральный угол $PO\sigma$, называется *полярным расстоянием* светила. Полярные расстояния обозначаются буквой p и отсчитываются от 0 до 180° к южному полюсу

мира. Светила, находящиеся в северном полушарии, имеют $p < 90°$, а в южном полушарии $p > 90°$.

Между полярным расстоянием и склонением одного и того же светила всегда справедливо соотношение

$$p + \delta = 90°. \qquad (1.8)$$

Положение светила на часовом круге может быть задано полярным расстоянием либо склонением.

Светила, находящиеся на одной суточной параллели, имеют одинаковое склонение и одинаковое полярное расстояние.

Угловое расстояние по небесному экватору AC от верхней точки экватора до часового круга, проходящего через светило, или центральный угол AOC, называется *часовым углом* светила. Часовые углы обозначаются буквой t и отсчитываются в сторону суточного вращения небесной сферы от 0 до 360° (в градусной мере) или от 0 до 24^h (в часовой мере).

Иногда часовые углы отсчитываются от 0 до +180° (от 0 до 12^h) к западу (западные часовые углы) и от 0 до —180° (от 0 до -12^h) к востоку (восточные часовые углы).

Светила, находящиеся на одном часовом круге, имеют одинаковый часовой угол.

в) Вторая экваториальная система. Угловое расстояние по небесному экватору γC (см. рис. 4) от точки весеннего равноденствия до часового круга, проходящего через светило, или центральный угол γOC, называется *прямым восхождением* светила.

Прямые восхождения обозначаются буквой α или A и отсчитываются в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы от 0 до 360° (в градусной мере) или от 0 до 24^h (в часовой мере).

Светила, находящиеся на одном часовом круге, имеют одинаковое прямое восхождение.

Прямое восхождение и склонение, или прямое восхождение и полярное расстояние, образуют вторую экваториальную систему небесных координат.

г) Эклиптическая система. Угловое расстояние по кругу широты $C\sigma$ (рис. 5) от эклиптики до светила, или центральный угол $CO\sigma$, называется *астрономической широтой* светила. Астрономические широты обозначаются буквой β и отсчитываются от 0 до +90° к северному полюсу и от 0 до —90° к южному полюсу эклиптики.

Светила, находящиеся на одном малом круге, параллельном эклиптике, имеют одинаковые астрономические широты.

Угловое расстояние по эклиптике γC от точки весеннего равноденствия до круга широты, проходящего через светило, или центральный угол γOC в плоскости эклиптики, называется *астрономической долготой* светила. Астрономические долготы обозна-

чаются буквой λ и отсчитываются в сторону видимого годичного движения Солнца по эклиптике от 0 до 360°.

Светила, находящиеся на одном круге широты, имеют одинаковые астрономические долготы.

д) Галактическая система. Угловое расстояние по кругу галактической широты $C\sigma$ (рис. 6) от галактического экватора до светила называется *галактической широтой* светила. Галактические широты обозначаются буквой b и отсчитываются от 0 до +90° к северному галактическому полюсу и от 0 до —90° к южному галактическому полюсу.

Угловое расстояние по галактическому экватору ☊C от восходящего узла галактического экватора на небесном экваторе до круга галактической широты, проходящего через светило, называется *галактической долготой* светила. Галактические долготы обозначаются буквой l и отсчитываются от 0 до 360° в сторону, противоположную движению часовой стрелки, если смотреть на плоскость галактического экватора со стороны его северного полюса.

С 1971 г. принята новая система галактических координат, в которой долгота l отсчитывается не от восходящего узла ☊, а от точки галактического экватора, соответствующей направлению на центр Галактики. Эта точка отстоит на $l_0 = 33°,0$ к западу от восходящего узла. Следовательно, галактическая долгота l в новой системе и долгота l' в старой системе связаны простым соотношением:

$$l = l' + l_0 = l' + 33°,0.$$

Если при этом окажется $l > 360°$, то из полученного значения l следует вычесть 360°.

§ 4. Единицы меры времени

Промежуток времени, в течение которого Земля делает один полный оборот вокруг своей оси относительно какой-нибудь точки на небе, называется *сутками*. Сутки являются основной единицей меры времени.

Сутки делятся на 24 часа, час (^{h}) — на 60 минут, минута (^{m}) — на 60 секунд, секунда (^{s}) — на десятые, сотые и т. д. доли.

Продолжительность суток зависит от того, относительно какой точки определяется период вращения Земли.

В астрономии за точки, определяющие продолжительность суток, принимаются:

1) *точка весеннего равноденствия,*
2) *Солнце («истинное Солнце»),*
3) *среднее экваториальное солнце.*

а) Звездные сутки; звездное время. Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями точки весеннего равноденст-

вия на одном и том же земном (географическом) меридиане называется *звездными сутками*.

За начало звездных суток на данном меридиане принимается момент в е р х н е й кульминации точки весеннего равноденствия. Время, протекшее от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия до любого другого ее положения, выраженное в долях звездных суток (в звездных часах, минутах, секундах и т. д.), называется *звездным временем*.

Звездное время s на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу точки весеннего равноденствия t_{γ}, выраженному в часовой мере, т. е.

$$s = t_{\gamma}^{h}. \qquad (1.9)$$

Звездное время равно также сумме часового угла t любого светила и прямого восхождения α этого же светила, т. е.

$$s = t + \alpha. \qquad (1.10)$$

В момент верхней кульминации светила $t = 0$ и звездное время

$$s = \alpha. \qquad (1.11)$$

б) **Истинные солнечные сутки; истинное солнечное время.** Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями центра видимого диска Солнца на одном и том же земном (географическом) меридиане называется *истинными солнечными сутками*.

За начало истинных солнечных суток на данном меридиане принимается момент нижней кульминации истинного Солнца (истинная полночь). Время, протекшее от момента нижней кульминации истинного Солнца до любого другого его положения, выраженное в долях истинных солнечных суток (т. е. в истинных солнечных часах, минутах, секундах и т. д.), называется *истинным солнечным временем*.

Истинное солнечное время $m_{\odot}$ на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу истинного солнца $t_{\odot}$, выраженному в часовой мере, плюс 12^{h}, т. е.

$$m_{\odot} = t_{\odot}^{h} + 12^{h}. \qquad (1.12)$$

Вследствие того, что истинное Солнце движется не по экватору, а по эклиптике и с переменной скоростью, истинное солнечное время неравномерно, а продолжительность истинных солнечных суток не является постоянной величиной в течение года: зимой она больше, чем летом.

в) **Средние солнечные сутки; среднее солнечное время.** Воображаемая точка, равномерно движущаяся по небесному экватору так, что в каждый момент T ее прямое восхождение A равно средней долготе истинного Солнца L, называется *средним экваториальным солнцем*.

Промежуток времени между двумя последовательными одноименными кульминациями среднего экваториального солнца на одном и том же меридиане называется *средними солнечными сутками.* За начало средних солнечных суток на данном меридиане принимается момент нижней кульминации среднего экваториального солнца (средняя полночь).

Время, протекшее от момента нижней кульминации среднего экваториального солнца до любого другого его положения, выраженное в долях средних солнечных суток (в средних солнечных часах, минутах, секундах и т. д.), называется *средним солнечным временем.*

Среднее солнечное время m на данном меридиане в любой момент численно равно часовому углу среднего экваториального солнца $t_{ср}$, *выраженному в часовой мере, плюс* 12^h, т. е.

$$m = t^h_{ср} + 12^h. \qquad (1.13)$$

Средняя долгота истинного Солнца, а следовательно, и прямое восхождение среднего экваториального Солнца, для любого момента T вычисляются по формуле

$$L = A = L_0 + n\,(T - T_0), \qquad (1.14)$$

где L_0 — средняя долгота для момента T_0, а n — среднее увеличение долготы Солнца.

Согласно С. Ньюкому,

$$A = 18^h38^m45^s,836 + 8640184^s,542T + 0^s,093T^2,$$

где T — число юлианских столетий (см. § 6) от момента 1900 г., январь 0, 12^h среднего солнечного времени в Гринвиче (средний гринвичский полдень), или

$$A = 18^h38^m45^s,836 + 236^s,55536049d + 0^s,093T^2,$$

где d — число средних суток, протекших с 1900 г., январь 0, 12^h (средний гринвичский полдень).

По этим формулам вычисляется звездное время в среднюю гринвичскую полночь, которое публикуется в астрономических календарях.

г) Уравнение времени. Разность часовых углов среднего экваториального солнца $t_{ср}$ и истинного Солнца $t_\odot$ называется *уравнением времени* η.

Приближенная величина уравнения времени (с ошибкой $0^m,1—0^m,2$) может быть вычислена по формуле

$$\eta = t_{ср} - t_\odot = 7^m,7 \sin(L + 78°) - 9^m,5 \sin 2L, \qquad (1.15)$$

где L — средняя долгота Солнца.

В переменной части Астрономического Календаря ВАГО уравнение времени дается в 0^h всемирного времени каждых суток в седьмом столбце солнечных эфемерид.

д) Связь истинного солнечного времени со средним солнечным временем. Если на каком-нибудь меридиане истинное солнечное время равно $m_{\odot}$, то среднее солнечное время m на этом же меридиане определяется по формуле

$$m = m_{\odot} + \eta. \quad (1.16)$$

И наоборот, если среднее солнечное время равно m, то истинное солнечное время

$$m_{\odot} = m - \eta. \quad (1.17)$$

е) Относительная продолжительность средних солнечных и звездных суток. В тропическом году (см. § 6) содержится 365,2422 средних солнечных суток и 366,2422 звездных суток. Следовательно,

365,2422 средн. солн. суток = 366,2422 звездн. суток.

Отсюда, с одной стороны,

$$1 \text{ средн. солн. сутки} = \frac{366{,}2422}{365{,}2422} \text{ звездн. суток}$$

и, с другой стороны,

$$1 \text{ звездные сутки} = \frac{365{,}2422}{366{,}2422} \text{ средн. солн. суток.}$$

Коэффициент

$$k = \frac{366{,}2422}{365{,}2422} = 1{,}002738 \quad (1.18)$$

служит для перевода промежутков среднего солнечного времени в часы, минуты и секунды звездного времени, а коэффициент

$$k' = \frac{365{,}2422}{366{,}2422} = 0{,}997270 \quad (1.19)$$

— для перевода промежутков звездного времени в часы, минуты и секунды среднего солнечного времени. Таким образом, если промежуток времени в средних солнечных единицах есть m, а в звездных единицах s, то

$$mk = s, \quad sk' = m. \quad (1.20)$$

Отсюда, в частности, следует, что

24^h	средн.	солн.	времени	=	$24^h03^m56^s{,}5554$	звездного	времени,	
1^h	»	»	»	=	$1^h00^m09^s{,}8565$	»	»	
1^m	»	»	»	=	$1^m00^s{,}1643$	»	»	
1^s	»	»	»	=	$1^s{,}0027$	»	»	
24^h	звезд.	времени		=	$23^h56^m04^s{,}0905$	средн.	солн.	времени
1^h	»	»		=	$59^m50^s{,}1704$	»	»	»
1^m	»	»		=	$59^s{,}8362$	»	»	»
1^s	»	»		=	$0^s{,}9973$	»	»	»

Для облегчения вычислений на основании соотношений (1.20) составляются более подробные таблицы, по которым любой промежуток времени, выраженный в одних единицах, можно легко выразить в других единицах. Такие таблицы помещены в отделе «Таблицы» (табл. 14 и 15).

ж) Связь среднего солнечного времени со звездным временем. 1. Пусть m есть среднее солнечное время в некоторый момент соответствующей календарной даты на каком-нибудь меридиане с восточной долготой от Гринвича λ. Требуется вычислить звездное время s в этот же момент, на этом же меридиане.

Прежде всего необходимо вычислить звездное время s_0 в среднюю полночь на данном меридиане по следующей формуле:

$$s_0 = S_0 - \frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m 56^s{,}5554, \tag{1.21}$$

где S_0 — звездное время в среднюю гринвичскую полночь соответствующей календарной даты, которое можно вычислить с помощью формулы (1.14) или взять из Астрономического Ежегодника.

В Переменной части АК ВАГО оно дано в последнем столбце эфемерид Солнца.

Величина $\frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m 56^s{,}5554$ также может быть заранее табулирована по аргументу λ (см. табл. 11 в отделе «Таблицы»). Затем вычисляем

$$s = s_0 + mk$$

или

$$s = S_0 - \frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m 56^s{,}5554 + mk \tag{1.22}$$

($k = 1{,}002738$).

2. Пусть s есть звездное время в некоторый момент соответствующей календарной даты на каком-нибудь меридиане с восточной долготой от Гринвича λ. Требуется вычислить среднее солнечное время m в этот же момент, на этом же меридиане.

Вычислив звездное время s_0 в среднюю полночь соответствующей календарной даты на данном меридиане по формуле (1.21), сможем получить среднее солнечное время по формуле

$$m = (s - s_0)\, k'$$

или

$$m = \left[s - \left(S_0 - \frac{\lambda^h}{24^h} \cdot 3^m 56^s{,}5554 \right) \right] k' \tag{1.23}$$

($k' = 0{,}997270$).

Для приближенных расчетов, с точностью до 5 минут, формулы (1.22) и (1.23) можно упростить, а именно

$$s = S_0 + m, \qquad (1.24)$$

$$m = s - S_0. \qquad (1.25)$$

Кроме того, звездное время в среднюю гринвичскую полночь S_0 при отсутствии Астрономического Календаря приближенно можно рассчитать по табл. I.

Таблица I

Сентябрь	22	0^h	Январь	21	8^h	Май	23	16^h
Октябрь	22	2	Февраль	21	10	Июнь	22	18
Ноябрь	22	4	Март	23	12	Июль	23	20
Декабрь	22	6	Апрель	22	14	Август	22	22

При этом нужно иметь в виду, что за каждые сутки звездное время уходит вперед приблизительно на 4 минуты.

§ 5. Системы счета времени

а) Местное время. Звездное время s, истинное солнечное $m_\odot$ и среднее солнечное время m какого-нибудь меридиана называются *местным звездным*, *местным истинным солнечным* и *местным средним солнечным* временем этого меридиана.

Точки, лежащие на одном географическом меридиане, в один и тот же момент имеют одинаковое местное время.

Разность местных звездных, истинных солнечных или средних солнечных времен двух меридианов в один и тот же момент численно равна разности долгот этих меридианов, выраженных в часовой мере, т. е.

$$\left.\begin{aligned} s_1 - s_2 &= \lambda_1^h - \lambda_2^h, \\ m_{\odot 1} - m_{\odot 2} &= \lambda_1^h - \lambda_2^h, \\ m_1 - m_2 &= \lambda_1^h - \lambda_2^h. \end{aligned}\right\} \qquad (1.26)$$

б) Всемирное время. Местное среднее солнечное время гринвичского меридиана называется *всемирным* или *мировым* временем T_0.

Местное среднее солнечное время какого-либо пункта на Земле определяется по формуле

$$m = T_0 + \lambda^h, \qquad (1.27)$$

где λ^h — географическая долгота пункта, выраженная в часовой мере и считаемая положительной к востоку от Гринвича.

В эфемеридах и таблицах переменной части АК ВАГО моменты большинства явлений указаны по всемирному времени.

Моменты этих явлений по местному среднему солнечному времени легко определяются по формуле (1.27).

в) Поясное время. *Поясным временем* $T_п$ какого-либо пункта называется местное среднее солнечное время основного географического меридиана того часового пояса, в котором расположен данный пункт.

Часовыми поясами называются 24 участка вдоль меридианов от северного полюса Земли до южного, ширина которых примерно равна 15° и на которые условно разделена вся поверхность Земли. *Основными меридианами* часовых поясов называются географические меридианы, проходящие приблизительно по середине часовых поясов и отстоящие точно на 15° по долготе друг от друга.

Часовые пояса занумерованы от 0 до 23. Основным меридианом нулевого пояса является гринвичский меридиан. Основным меридианом первого часового пояса является географический меридиан, расположенный от гринвичского точно на 15° к востоку; основным меридианом второго часового пояса — меридиан, расположенный точно на 30° к востоку от Гринвича, и т. д.

Границы же между часовыми поясами не проходят точно по меридианам, а согласуются с государственными, административно-экономическими, или естественными границами и могут быть при необходимости изменены.

Разность поясных времен двух пунктов является всегда целым числом часов, равным разности номеров их часовых поясов, т. е.

$$T_{п2} - T_{п1} = N_2^h - N_1^h. \qquad (1.28)$$

Отсюда поясное время какого-либо пункта с восточной долготой λ^h

$$\left.\begin{aligned} T_п &= T_0 + N^h, \\ T_п &= m + N^h - \lambda^h, \end{aligned}\right\} \qquad (1.29)$$

и, наоборот,

$$\left.\begin{aligned} T_0 &= T_п - N^h, \\ m &= T_п - N^h + \lambda^h. \end{aligned}\right\} \qquad (1.30)$$

г) Декретное время. С 16 июля 1930 г. декретом Правительства СССР стрелки всех часов в нашей стране передвинуты вперед относительно поясного времени на 1 час. Такое время получило название *декретного*, $T_д$. Следовательно,

$$\left.\begin{aligned} T_д &= T_п + 1^h, \\ T_д &= T_0 + N^h + 1^h, \\ T_д &= m + N^h - \lambda^h + 1^h. \end{aligned}\right\} \qquad (1.31)$$

Отсюда

$$\left.\begin{aligned} T_п &= T_д - 1^h, \\ T_0 &= T_д - N^h - 1^h, \\ m &= T_д - N^h + \lambda^h - 1^h. \end{aligned}\right\} \qquad (1.32)$$

С 1981 г. в нашей стране введено *летнее* время: в период с 1 апреля по 30 сентября стрелки часов переводятся на 1 час вперед по сравнению с декретным временем. Летнее время вводится также во многих странах мира.

д) Эфемеридное время. Положения Солнца, Луны и планет, вычисленные на основании теории, относятся ко времени, которое является независимой переменной дифференциальных уравнений движения тел Солнечной системы. Это время считается равномерным и называется *эфемеридным* ($T_{эф}$).

Если бы Земля вращалась вокруг своей оси также равномерно, то наблюденные координаты Солнца, Луны и планет в 0^h всемирного времени и вычисленные для 0^h эфемеридного времени в точности совпадали бы. В действительности, как показывают наблюдения, в силу неравномерности вращения Земли наблюденные координаты не совпадают с вычисленными.

Разность между наблюденными и вычисленными координатами тем больше, чем больше *среднее суточное движение* светила n, и зависит от разности ΔT между эфемеридным временем $T_{эф}$ и всемирным временем T_0.

Наибольшее среднее суточное движение имеет Луна ($n = 47\,435''$), затем Меркурий ($n = 14\,732''$), Венера ($n = 5768''$) и Солнце ($n = 3548''$). Средние суточные движения остальных больших планет значительно меньше и практически разностей между наблюденными и эфемеридными координатами обнаружить нельзя.

Величина $\Delta T = T_{эф} - T_0$ изменяется с течением времени вследствие неравномерного вращения Земли вокруг оси и вычисляется из сравнения наблюденных и эфемеридных координат Луны (как светила с наибольшим суточным движением) по формуле

$$\Delta T = +24^s{,}349 + 72^s{,}318T + 29^s{,}950T^2 + 1{,}821B,$$

где T — время в юлианских столетиях, отсчитанное от момента 1900,0 12^h эфемеридного времени в Гринвиче; B — флуктуация долготы Луны, получаемая из сравнения ее наблюдаемых и эфемеридных положений.

Разность ΔT в начале двадцатого столетия была близка к нулю. В 1981 г. принято экстраполированное значение $\Delta T = +52^c$. Разность между эфемеридным временем и всемирным с течением времени увеличивается, так как происходит общее замедление вращения Земли, хотя иногда наблюдается и некоторое ускорение вращения.

На основании решений VIII (1952 г.) и IX (1955 г.) съездов Международного астрономического союза с 1960 г. в таблицах астрономических ежегодников термин «всемирное время» (которое определить наперед невозможно) заменен на «эфемеридное время».

Редколлегия Астрономического Календаря ВАГО решила сохранить термин «всемирное время» и в дальнейших выпусках, так как только для Луны прямое восхождение и склонение изменяются за время ΔT лишь на 1^s и на $0',1$ соответственно, т. е. до одной единицы последнего знака при принятой в Календаре точности. В переменной части Астрономического Календаря ВАГО в объяснениях к эфемеридам на каждый год дается экстраполированное значение $\Delta T = T_{эф} - T_0$.

§ 6. Календарь. Юлианские дни

Система счета длительных промежутков времени называется *календарем*. Составление календарей основывается на единицах меры времени значительно бóльших, чем средние солнечные сутки.

Так, в основе современного календаря лежит *тропический год* — промежуток времени между двумя последовательными прохождениями среднего солнца через точку весеннего равноденствия.

Тропический год содержит 365,2422 средних солнечных суток, или 366,2422 звездных суток.

Главная задача при составлении календаря заключается в том, чтобы продолжительность календарного года, в среднем за несколько лет, была как можно ближе к продолжительности тропического года.

В *юлианском* календаре (старый стиль), введенном Юлием Цезарем в 46 г. до н. э., это достигалось следующим простым правилом:

Продолжительность календарного года принималась равной 365 средним солнечным суткам, за исключением тех годов, номера которых делятся на 4 без остатка; продолжительность последних принималась равной 366 суткам, и они получили название *високосных годов*.

В високосном году в феврале считается не 28, а 29 дней.

Таким образом, продолжительность года в юлианском календаре в среднем за 4 года равна 365,25 средних солнечных суток, т. е. календарный год длиннее тропического на 0,0078 средних солнечных суток. Счет времени юлианскими годами за 128 лет дает расхождение со счетом тропическими годами приблизительно в одни сутки, за 400 лет — приблизительно в трое суток. (Например, день весеннего равноденствия через 400 лет по юлианскому календарю наступит на три дня раньше). Промежуток времени

в 36 525 средних солнечных суток называется *юлианским столетием.*

В 1582 г. римский папа Григорий XIII произвел реформу юлианского календаря. Реформа эта заключалась в следующем:

1. После 4 октября 1582 г. стали считать не 5 октября, а 15 октября. Этим устранялось расхождение в 10 суток со счетом тропическими годами, которое накопилось с 325 г. *).

2. Високосным годом в дальнейшем стали считать каждый четвертый, но за исключением годов с целым числом столетий (1700, 1800, 1900); год с целым числом столетий стали считать високосным только в том случае, если число сотен делится на 4 без остатка (например, 1600, 2000 и т. д.).

Этим правилом продолжительность календарного года в среднем за 400 лет устанавливалась равной 365,2425 средних солнечных суток, т. е. календарный год стал длиннее тропического года всего лишь на 0,0003 средних солнечных суток.

Эта система счета получила название *григорианского* календаря или нового стиля. Григорианский календарь был введен в западных странах в течение XVI—XVII веков. В СССР новый стиль был введен декретом Правительства в 1918 г., при этом вместо 1 февраля было предписано считать 14 февраля, так как расхождение юлианского календаря со счетом тропическими годами к 1918 г. составило уже 13 суток.

Юлианские дни. При решении некоторых задач астрономии (например, при исследовании переменных звезд) необходимо знать число средних солнечных суток, протекших между двумя датами, далеко отстоящими друг от друга. Этот вопрос быстро и уверенно решается при помощи *юлианских дней.* Так называются дни, которые непрерывно считаются через годы, столетия и тысячелетия, от 1 января 4713 г. до нашей эры. При этом начало каждого юлианского дня считается в средний гринвичский полдень.

Дни юлианского периода в переменной части АК ВАГО помещаются во втором столбце ежемесячных эфемерид Солнца. Приводимые там целые числа относятся к средним гринвичским полудням соответствующих календарных суток, т. е. к 12^h всемирного времени. Поэтому для средней гринвичской полуночи той же календарной даты, т. е. для 0^h всемирного времени, данные календаря нужно уменьшить на 0,5; например, средняя гринвичская полночь с 2 на 3 июня 1982 г. выразится в юлианской системе числом 2 445 123,5.

---

*) В 325 г. состоялся Никейский собор, на котором были установлены правила празднования религиозных праздников (в частности, пасхи). Правила эти были связаны с наступлением некоторых естественных явлений, например, с днем весеннего равноденствия, которое приходилось в этом году по календарю на 21 марта.

§ 7. Основные формулы сферической тригонометрии

Фигура на поверхности сферы, образованная тремя дугами больших кругов, соединяющими попарно три какие-либо точки на сфере, называется *сферическим треугольником*.

Вершины и углы сферического треугольника обозначаются большими буквами латинского алфавита A, B, C, а противоположные им стороны — соответствующими малыми буквами того же алфавита a, b, c (рис. 7).

Каждая сторона сферического треугольника меньше суммы двух других сторон, т. е.

$$a < b + c,$$

$$b < a + c,$$

$$c < a + b.$$

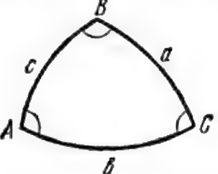


Рис. 7. Сферический треугольник.

Каждая сторона сферического треугольника больше разности двух других сторон, т. е.

$$a > b - c, \text{ или } a > c - b,$$

$$b > a - c, \text{ или } b > c - a,$$

$$c > a - b, \text{ или } c > b - a.$$

Полупериметр сферического треугольника всегда больше каждой из его сторон, т. е.

$$\frac{a + b + c}{2} > a,$$

$$\frac{a + b + c}{2} > b,$$

$$\frac{a + b + c}{2} > c.$$

Сумма сторон сферического треугольника всегда меньше 360°, т. е.

$$a + b + c < 360°.$$

Сумма углов сферического треугольника всегда меньше 540° и больше 180°, т. е.

$$540° > A + B + C > 180°.$$

Разность между суммой трех углов сферического треугольника и 180° называется *сферическим избытком* E, т. е.

$$E = A + B + C - 180°.$$

Площадь сферического треугольника s равна произведению сферического избытка и величины $\frac{\pi R^2}{180°}$, т. е.

$$s = (A + B + C - 180°)\frac{\pi R^2}{180°}, \qquad (1.33)$$

где R — радиус сферы, на поверхности которой образован треугольник.

Косинус одной стороны сферического треугольника равняется произведению косинусов двух других его сторон плюс произведение синусов тех же сторон на косинус угла между ними, т. е.

$$\left.\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A, \\ \cos b &= \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B, \\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C. \end{aligned}\right\} \qquad (1.34)$$

Синусы сторон сферического треугольника пропорциональны синусам противолежащих им углов, т. е.

$$\frac{\sin a}{\sin c} = \frac{\sin A}{\sin C}; \quad \frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B};$$

$$\frac{\sin b}{\sin c} = \frac{\sin B}{\sin C},$$

или, иначе, отношение синуса стороны сферического треугольника к синусу противолежащего угла есть величина постоянная, т. е.

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} = \text{const}. \qquad (1.35)$$

Синус стороны сферического треугольника, умноженный на косинус прилежащего угла, равен произведению синуса другой стороны, ограничивающей прилежащий угол, на косинус третьей стороны минус косинус стороны, ограничивающей угол, умноженный на произведение синуса третьей стороны и косинуса угла, противолежащего первой стороне, т. е.

$$\left.\begin{aligned} \sin a \cos C &= \sin b \cos c - \cos b \sin c \cos A, \\ \sin b \cos A &= \sin c \cos a - \cos c \sin a \cos B, \\ \sin c \cos B &= \sin a \cos b - \cos a \sin b \cos C, \\ \sin a \cos B &= \sin c \cos b - \cos c \sin b \cos A, \\ \sin b \cos C &= \sin a \cos c - \cos a \sin c \cos B, \\ \sin c \cos A &= \sin b \cos a - \cos b \sin a \cos C. \end{aligned}\right\} \qquad (1.36)$$

Формулы (1.34)—(1.36) являются основными формулами сферической тригонометрии.

Полярным треугольником для данного сферического треугольника называется такой сферический треугольник, по отношению сторон которого вершины данного являются полюсами, т. е. отстоят от сторон на 90° (рис. 8).

Сумма угла данного сферического треугольника и соответствующей стороны полярного треугольника равна 180°, т. е.

$$A + a' = 180°; \quad B + b' = 180°, \quad C + c' = 180°, \qquad (1.37)$$

и наоборот, сумма угла полярного треугольника и соответствующей стороны данного сферического треугольника равна 180°, т. е.

$$A' + a = 180°; \quad B' + b = 180°; \quad C' + c = 180°. \qquad (1.38)$$

Пользуясь этими свойствами полярного треугольника, из основных формул (1.34)—(1.36) можно получить другие зависимости между сторонами и углами сферического треугольника.

Например, из формул (1.34), и (1.37) и (1.38) имеем

$$\cos A' = \cos B' \cos C' + \sin B' \sin C' \cos a',$$
$$\cos B' = \cos C' \cos A' + \sin C' \sin A' \cos b',$$
$$\cos C' = \cos A' \cos B' + \sin A' \sin B' \cos c'.$$

Эти формулы, равно как и те, которые можно получить из других основных, используя соотношения (1.37) и (1.38), справедливы, конечно, не только для полярного треугольника, но и вообще для всякого сферического треугольника.

Если в сферическом треугольнике один из углов равен 90°, то треугольник называется *прямоугольным*.

Для решения прямоугольных сферических треугольников наиболее употребительны следующие формулы (которые легко получаются из основных и выводимых из них формул, если в треугольнике положить $A = 90°$):

$$\cos a = \cos b \cos c = \operatorname{ctg} B \operatorname{ctg} C,$$
$$\sin b = \sin a \sin B,$$
$$\sin c = \sin a \sin C,$$
$$\sin a \cos B = \cos b \sin c,$$
$$\operatorname{tg} b = \sin c \operatorname{tg} B,$$
$$\operatorname{tg} c = \operatorname{tg} a \cos B,$$
$$\cos B = \cos b \sin C.$$

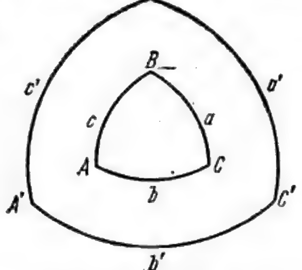


Рис. 8. Полярный треугольник для сферического треугольника ABC.

Для решения сферических треугольников со стороной $a = 90°$ употребляются следующие формулы:

$$\cos A = -\operatorname{ctg} b \operatorname{ctg} c = -\cos B \cos C,$$
$$\sin B = \sin A \sin b,$$
$$\sin C = \sin A \sin c.$$
$$\sin A \cos b = \cos B \sin C,$$
$$\operatorname{tg} B = \operatorname{tg} b \sin C,$$
$$\operatorname{tg} C = -\operatorname{tg} A \cos b,$$
$$\cos b = \sin c \cos B.$$

§ 8. Переход от одной системы координат к другой

Во всех случаях перехода от одной системы координат к другой необходимо, по формулам сферической тригонометрии, решать соответствующие сферические треугольники. Ниже эти треугольники будут указаны и будут даны окончательные формулы перехода без подробных выводов.

Переход от экваториальных координат к горизонтальным и обратно. В основе преобразований лежит сферический треугольник $PZ\sigma$ (рис. 9), который называется *параллактическим*. Вершинами его являются: зенит (Z), полюс мира (P) и светило (σ). Сторона ZP есть дуга небесного меридиана, равная $90° - \varphi$, где φ — широта места наблюдения. Сторона $Z\sigma$ есть дуга вертикального круга и равна, следовательно, зенитному расстоянию светила z; третья сторона $P\sigma$ есть дуга часового круга и равна полярному расстоянию p светила или $90° - \delta$, где δ — склонение светила. Угол $PZ\sigma = 180° - A$, где A — азимут светила; угол $ZP\sigma = t$, где t — часовой угол светила, $t = s - \alpha$ (см. формулу 1.10). Угол $P\sigma Z = q$ называется *параллактическим* углом.

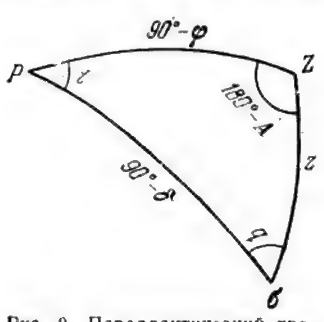


Рис. 9. Параллактический треугольник.

1. *Переход от экваториальных координат к горизонтальным.* Даны φ, δ и α; найти z и A для момента T среднего солнечного времени (местного, поясного или декретного).

Прежде всего необходимо по моменту T найти местное звездное время s и вычислить часовой угол $t = s - \alpha$. Затем z и A вычисляются по формулам:

$$\cos z = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t,$$

$$\sin z \sin A = \cos\delta \sin t,$$

$$\sin z \cos A = -\cos\varphi \sin\delta + \sin\varphi \cos\delta \cos t.$$

Эти формулы удобны для вычислений на калькуляторе. Для вычислений с логарифмами удобнее следующие формулы:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\cos t},$$

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos M \operatorname{tg} t}{\sin(\varphi - M)},$$

$$\operatorname{tg} z = \operatorname{tg}(\varphi - M) \sec A.$$

Если $\operatorname{tg} M > 0$, то M нужно брать в первом или третьем квадранте; если $\operatorname{tg} M < 0$, то во втором или четвертом квадранте. Если $0° < t < 180°$, то $0° < A < 180°$; если $180° < t < 360°$, то и $180° < A < 360°$. Кроме того, всегда $0° < z < 180°$.

Для контроля вычислений служит формула

$$\frac{\cos\delta\cos t}{\sin z\cos A}=\frac{\cos M}{\sin(\varphi-M)}.$$

2. *Переход от горизонтальных координат к экваториальным.* Даны φ, z и A; найти δ и t, а затем и α, если известно s. Для вычислений на калькуляторе служат следующие формулы:

$$\sin\delta=\sin\varphi\cos z-\cos\varphi\sin z\cos A,$$

$$\cos\delta\sin t=\sin z\sin A,$$

$$\cos\delta\cos t=\cos z\cos\varphi+\sin z\sin\varphi\cos A.$$

Для вычислений с логарифмами формулы имеют вид

$$\operatorname{tg}M=\operatorname{tg}z\cos A,$$

$$\operatorname{tg}t=\frac{\sin M\operatorname{tg}A}{\cos(\varphi-M)},$$

$$\operatorname{tg}\delta=\operatorname{tg}(\varphi-M)\cos t,\quad \alpha=s-t.$$

Квадранты для M и t выбираются по тем же условиям, что и в предыдущем случае.

Для контроля вычислений служит формула

$$\frac{\sin z\cos A}{\cos\delta\cos t}=\frac{\sin M}{\cos(\varphi-M)}.$$

Переход от экваториальных координат к эклиптическим и обратно. В основе преобразований лежит сферический треугольник $P\sigma\Pi$ (рис. 10). Вершинами его являются: полюс мира P, полюс эклиптики Π и светило σ. Сторона ΠP равна углу наклона эклиптики к экватору ε, сторона $P\sigma$ есть полярное расстояние $p = 90° - \delta$, сторона $\Pi\sigma = 90° - \beta$, где β — астрономическая широта светила. Угол $P\Pi\sigma = 90° - \lambda$, где λ — астрономическая долгота светила, и, наконец, угол $\Pi P\sigma = 90° + \alpha$.

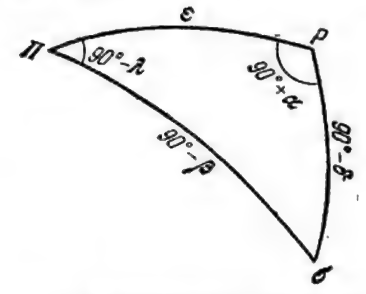


Рис. 10. Сферический треугольник, связывающий светило, полюс мира и полюс эклиптики.

1. *Переход от экваториальных координат к эклиптическим.* Даны α, δ и ε; найти λ и β. Формулы для вычислений на калькуляторе следующие:

$$\sin\beta=\cos\varepsilon\sin\delta-\sin\varepsilon\cos\delta\sin\alpha,$$

$$\cos\beta\cos\lambda=\cos\delta\cos\alpha,$$

$$\cos\beta\sin\lambda=\sin\delta\sin\varepsilon+\cos\delta\cos\varepsilon\sin\alpha.$$

Формулы для вычислений с логарифмами:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\sin \alpha},$$

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\cos (M - \varepsilon) \operatorname{tg} \alpha}{\cos M},$$

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} (M - \varepsilon) \sin \lambda.$$

Квадрант для M выбирается по знаку $\operatorname{tg} M$, а λ лежит в том же квадранте, как и α.

Формула для контроля вычислений:

$$\frac{\cos \beta \sin \lambda}{\cos \delta \sin \alpha} = \frac{\cos (M - \varepsilon)}{\cos M}.$$

2. *Переход от эклиптических координат к экваториальным* Даны λ, β и ε; найти α и δ. Формулы для вычислений на калькуляторе:

$$\sin \delta = \cos \varepsilon \sin \beta + \sin \varepsilon \cos \beta \sin \lambda,$$

$$\cos \delta \cos \alpha = \cos \beta \cos \lambda,$$

$$\cos \delta \sin \alpha = -\sin \beta \sin \varepsilon + \cos \beta \cos \varepsilon \sin \lambda.$$

Формулы для вычислений с логарифмами:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sin \lambda},$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos (M + \varepsilon) \operatorname{tg} \lambda}{\cos M},$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} (M + \varepsilon) \sin \alpha.$$

Квадранты для M и α выбираются по условиям, аналогичным предыдущему случаю.

Формула для контроля вычислений:

$$\frac{\cos \delta \sin \alpha}{\cos \beta \sin \lambda} = \frac{\cos (M + \varepsilon)}{\cos M}.$$

Переход от экваториальных координат к галактическим. В основе преобразований лежит сферический треугольник $\mathscr{P}\Gamma_\sigma$ (рис. 11). Вершинами его являются: северный полюс мира $\mathscr{P}$, северный галактический полюс Γ и светило σ. Сторона $\mathscr{P}\sigma$ есть $90° - \delta$, где δ — склонение светила; сторона $\Gamma\sigma$ есть дополнение до $90°$ галактической широты светила, т. е. $90° - b$; сторона $\Gamma\mathscr{P}$ равна $90° - D$, где D — склонение северного галактического полюса; угол $\mathscr{P}\Gamma\sigma = 90° - l$, где l — галактическая долгота светила; угол $\Gamma\mathscr{P}\sigma = \alpha - A$, где α — прямое восхождение светила, а A — прямое восхождение северного галактического полюса.

Даны α, δ, D и A; найти b и l.

Формулы для вычислений на калькуляторе:

$$\left.\begin{aligned} \sin b &= \sin D \sin\delta + \cos D \cos\delta \cos(\alpha - A), \\ \cos b \cos l &= \cos\delta \sin(\alpha - A), \\ \cos b \sin l &= \sin\delta \cos D - \cos\delta \sin D \cos(\alpha - A); \end{aligned}\right\} \qquad (1.39)$$

для вычислений с логарифмами:

$$\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg}\delta}{\cos(\alpha - A)},$$

$$\operatorname{tg} l = \frac{\sin(M - D)\operatorname{ctg}(\alpha - A)}{\cos M},$$

$$\operatorname{tg} b = \operatorname{ctg}(M - D)\sin l.$$

Для контроля вычислений применяем следующую формулу:

$$\frac{\cos b \sin l}{\cos\delta \cos(\alpha - A)} = \frac{\sin(M - D)}{\cos M}.$$

В этих формулах положение галактического экватора задано прямым восхождением A и склонением D его северного полюса Г. Очень часто положение галактического экватора задается прямым восхождением ☊ его восходящего узла и углом наклонения i галактического экватора к небесному экватору. Эти четыре величины связаны между собой соотношениями

$$☊ - A = 90°,$$

$$D + i = 90°.$$

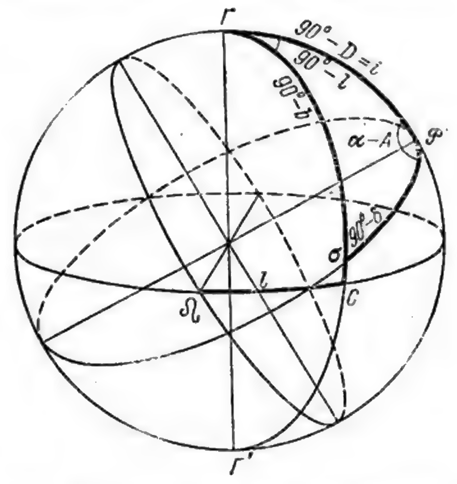


Рис. 11. Сферический треугольник, связывающий светило, полюс мира и галактический полюс.

Следовательно, сторона $Г\mathscr{P} = 90° - D = i$, а угол $Г\mathscr{P}\sigma = \alpha - A = \alpha - ☊ + 90°$ и формулы (1.39) принимают вид

$$\left.\begin{aligned} \sin b &= \sin\delta \cos i - \cos\delta \sin i \sin(\alpha - ☊), \\ \sin l \cos b &= \sin\delta \sin i + \cos\delta \cos i \sin(\alpha - ☊), \\ \cos l \cos b &= \cos\delta \cos(\alpha - ☊). \end{aligned}\right\} \qquad (1.40)$$

Так как положение галактического экватора определяется с точностью в лучшем случае до десятых долей градуса, то l и b также вычисляют с точностью до 0°,1. При этом пользуются готовыми таблицами, например, Ольсона «Lund Observatory Tables for the Conversion of Equatorial Coordinates into Galactic Coordinates».

В этих таблицах приняты координаты северного галактического полюса для эпохи 1900,0, а именно: $A = 190°$ (12^h40^m), $D =$

$= +28°$. Следовательно, $i = 62°$, а прямое восхождение узла $\Omega = 280°$.

В 1961 г. Тургорд опубликовала аналогичные таблицы с координатами северного галактического полюса для эпохи 1950,0. В этих таблицах принято $A = 192°{,}2$ (12^h49^m), $D = +27°{,}4$, $i = 62°{,}6$ и $\Omega = 282°{,}2$.

В отделе «Таблицы» приведена табл. 37 для вычисления l и b (в новой системе, см. § 3 гл. I) по экваториальным координатам α и δ.

Для перехода от галактических координат l и b к экваториальным координатам α и δ (на практике эта задача встречается редко) служат следующие формулы:

$$\sin\delta = \sin b\cos i + \cos b\sin i\sin l,$$

$$-\sin(\alpha - \Omega)\cos\delta = \sin\beta\sin i - \cos b\cos i\sin l,$$

$$\cos(\alpha - \Omega)\cos\delta = \cos b\cos l.$$

Здесь l должна быть выражена в старой системе отсчета (см. § 3 гл. I).

§ 9. Параллакс

Кажущееся смещение светила, обусловленное перемещением наблюдателя, называется *параллактическим смещением*, или *параллаксом* светила. Параллактические смещения светила тем больше, чем ближе светило к наблюдателю и чем больше перемещение наблюдателя.

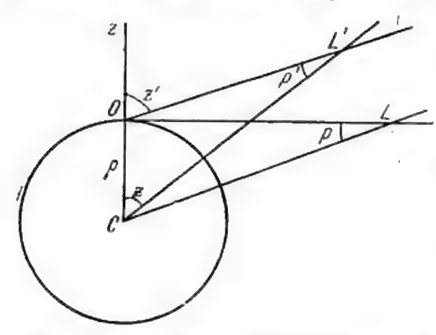


Рис. 12. Суточный и горизонтальный параллакс.

Координаты светил, определенные из точки на поверхности Земли, называются *топоцентрическими*.

Топоцентрические координаты каждого светила в один и тот же момент для различных точек поверхности Земли различны.

Различие это заметно для тел Солнечной системы и практически не ощутимо для звезд (меньше 0",00004). Поэтому для тел Солнечной системы в эфемеридах календарей даются *геоцентрические* координаты, т. е. координаты, отнесенные к центру Земли. Для перехода от геоцентрических координат к топоцентрическим необходимо учесть влияние параллакса.

Суточным параллаксом светила называется разность направлений, по которым светило было бы видно из центра Земли и из какой-нибудь точки O на ее поверхности (рис. 12). Иными словами,

суточный параллакс есть угол p', под которым со светила был бы виден радиус Земли в месте наблюдения. Для светила, находящегося в зените места наблюдения, суточный параллакс равен нулю. Если светило находится на горизонте, то суточный параллакс его принимает свое максимальное значение и называется в этом случае *горизонтальным параллаксом* p.

Суточный параллакс p' и горизонтальный параллакс p связаны между собой простым соотношением

$$p' = p \sin z,$$

где z — зенитное расстояние светила.

Горизонтальный параллакс светила для точек, лежащих на экваторе, т. е. для экваториальных радиусов Земли, называется *горизонтальным экваториальным параллаксом* светила p_0 (рис. 13).

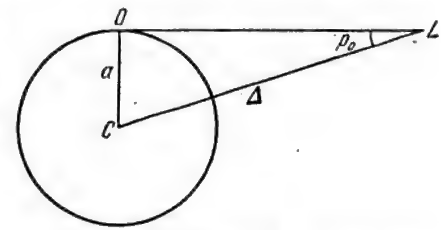


Рис. 13. Горизонтальный экваториальный параллакс.

Горизонтальный экваториальный параллакс p_0 связан с горизонтальным параллаксом p соотношением

$$p_0 = p \frac{a}{\rho},$$

где a — экваториальный радиус Земли, а ρ — радиус Земли в месте наблюдения.

Горизонтальные топоцентрические координаты светила z' и A' вычисляются по его геоцентрическим координатам z и A по формулам

$$\left. \begin{aligned} z' - z &= p_0 \frac{\rho}{a} \sin [z' - (\varphi - \varphi') \cos A'], \\ A' - A &= \frac{p_0 \frac{\rho}{a} \sin (\varphi - \varphi') \sin A'}{\sin z'}. \end{aligned} \right\} \qquad (1.41)$$

При малых значениях p_0 в правых частях этих формул можно, без потери точности, вместо z' и A' поставить z и A. Кроме того, влияние суточного параллакса на азимут светила очень незначительно и на практике им пренебрегают.

Экваториальные топоцентрические координаты светила t', α' и δ' определяются из его геоцентрических экваториальных координат t, α и δ по формулам

$$\left. \begin{aligned} t' - t = \alpha - \alpha' &= p_0 \frac{\rho}{a} \cos \varphi' \sin t \sec \delta, \\ \delta - \delta' &= p_0 \frac{\rho}{a} (\sin \varphi' \cos \delta - \cos \varphi' \sin \delta \cos t). \end{aligned} \right\} \qquad (1.42)$$

При этом $t' + \alpha' = t + \alpha = s$, где s — местное звездное время.

Для большинства тел Солнечной системы горизонтальный экваториальный параллакс меньше 30″ (для Солнца, например, $p_0 = 8'',794$) и только для Луны он может достигать 62′. Поэтому любителю на практике пользоваться формулами (1.41) и (1.42), т. е. делать различие между топоцентрическими и геоцентрическими координатами, придется только в случае Луны. При этом надо иметь в виду, что горизонтальный параллакс Луны в переменной части АК ВАГО не дается, но его легко получить, умножая видимый угловой радиус Луны r на 3,67 (r приводится в последней колонке лунных эфемерид).

Знание горизонтального экваториального параллакса светила позволяет легко определить расстояние от центра Земли до светила. Действительно, если на рис. 13 CO есть экваториальный радиус Земли a, CL есть расстояние от центра Земли до светила, равное Δ, а угол OLC есть горизонтальный экваториальный параллакс светила p_0, то из прямоугольного треугольника COL имеем

$$\Delta = \frac{a}{\sin p_0}. \qquad (1.43)$$

Так как угол p_0 мал, то

$$\sin p_0 = p_0'' \sin 1'' = p_0'' \frac{1}{206\,265}$$

и формула (1.43) принимает вид

$$\Delta = \frac{206\,265'' a}{p_0''}. \qquad (1.44)$$

Расстояние Δ по формулам (1.43) и (1.44) получается в тех же единицах, в которых выражен экваториальный радиус Земли a.

Если принять горизонтальный экваториальный параллакс Солнца равным 8″,794, то расстояние Солнца от Земли будет равно 149 597 870 км. Это расстояние в астрономии называется *астрономической единицей* (а. е.).

Вследствие огромных расстояний от Земли до звезд, горизонтальные экваториальные параллаксы последних исчезающе малы, и расстояния до них определяют с помощью годичных параллаксов. *Годичным параллаксом* звезды π называется угол, под которым со звезды был бы виден средний радиус земной орбиты при условии, что направление на звезду перпендикулярно к радиусу (рис. 14).

Годичные параллаксы звезд меньше 1″. Поэтому влияние годичного параллакса на координаты звезд учитывается только при высокоточных наблюдениях и исследованиях.

Пренебрегая широтой Солнца и эксцентриситетом земной орбиты, влияние годичного параллакса приближенно можно вычислить по формулам

$$\left.\begin{aligned} \beta' - \beta &= \pi \sin\beta \cos(L_\odot - \lambda), \\ (\lambda' - \lambda)\cos\beta &= \pi \sin(L_\odot - \lambda), \end{aligned}\right\} \qquad (1.45)$$

или

$$\left.\begin{aligned}(\alpha'-\alpha)\cos\delta &= \pi\cos D_\odot \sin(A_\odot-\alpha),\\ (\delta'-\delta) &= \pi[\cos\delta\sin D_\odot - \sin\delta\cos D_\odot\cos(A_\odot-\alpha)],\end{aligned}\right\}\quad(1.46)$$

где λ', β', α' и δ' — геоцентрические координаты звезды, λ, β, α и δ — гелиоцентрические координаты, $L_\odot$ — долгота Солнца, $A_\odot$, $D_\odot$ — прямое восхождение и склонение Солнца.

Если на рис. 14 ST есть средний радиус земной орбиты, т. е. астрономическая единица (а. е.), σS — расстояние D звезды от Солнца, а угол $S\sigma T$ — годичный параллакс звезды π, то из прямоугольного треугольника $ST\sigma$ имеем

$$D = \frac{1\text{а. е.}}{\sin\pi} \quad (1.47)$$

и так как угол π мал, то

$$D = \frac{206\,265''\ \text{а. е.}}{\pi''}. \quad (1.48)$$

Рис. 14. Годичный параллакс звезд.

Расстояние по формулам (1.47) и (1.48) получается в тех же единицах, в которых выражена астрономическая единица.

Расстояние, соответствующее годичному параллаксу в 1", называется *парсеком* (пс). Из формулы (1.48) следует, что

$$1\ \text{пс} = 206\,265\ \text{а. е.} = 3{,}086\cdot10^{13}\ \text{км}.$$

Если D выражается в парсеках, то формула (1.48) принимает вид

$$D = \frac{1}{\pi''}. \quad (1.49)$$

Расстояние, составляющее 1000 парсек, называется *килопарсеком*, а расстояние в 1 000 000 парсек — *мегапарсеком*.

Расстояние, которое свет проходит за один год, распространяясь со скоростью около 300 000 км/с, называется *световым годом*, 1 световой год $= 9{,}46\cdot10^{12}$ км $= 63198$ а. е. $= 0{,}3064$ пс. Так как 1 пс $= 3{,}26$ светового года, то расстояние $D = \frac{3{,}26}{\pi''}$ световых лет.

§ 10. Рефракция

Астрономической *рефракцией* называется явление преломления световых лучей, идущих от светила к наблюдателю, при прохождении ими земной атмосферы.

Вследствие рефракции наблюдатель видит светило по направлению $A\sigma_1$ (рис. 15), а не по направлению $A\sigma_2$, параллельному

$M\sigma$, по которому он видел бы светило в случае отсутствия атмосферы.

Угол $\sigma_1 A \sigma_2$ называется углом рефракции ρ или просто рефракцией. Угол $ZA\sigma_1$ называется видимым зенитным расстоянием светила z', а угол $ZA\sigma_2$ — истинным зенитным расстоянием z; тогда

$$z - z' = \rho, \quad z = z' + \rho,$$

т. е. истинное зенитное расстояние равно видимому зенитному расстоянию плюс рефракция.

Величина рефракции зависит от видимого зенитного расстояния z' и меняется в зависимости главным образом от температуры и давления, увеличиваясь с понижением температуры и с повышением давления.

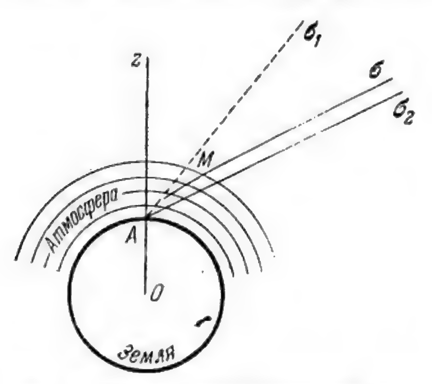


Рис. 15. Влияние атмосферной рефракции на видимое положение светила на небе.

Величину рефракции при температуре 0 °С и при давлении 1013 гПа (760 мм рт. ст.) можно приближенно вычислить по формуле

$$\rho = 58'',2 \operatorname{tg} z'.$$

Эта формула пригодна для зенитных расстояний от 0° до 70 °С. В зените рефракция равна нулю, а в горизонте принимается в среднем равной 35'.

В отделе «Таблицы» дана табл. 16а средней рефракции при температуре +10 °С и давлении 1013 гПа, а также табл. 16б для вычисления поправки за температуру и давление, пригодная для температур от +20 до —20 °С.

З а м е ч а н и е. Помимо рефракции, влияние земной атмосферы сказывается также в поглощении света, идущего от небесных тел; поглощение зависит от толщины слоя атмосферы, проходимого лучом света, и изменяется в зависимости от зенитного расстояния светила. В отделе «Таблицы» дана табл. 17 средних величин поглощения света E, в звездных величинах, для различных зенитных расстояний. В зависимости от атмосферных условий места наблюдения величина E может значительно колебаться.

§ 11. Прецессия и нутация

Вследствие возмущающего действия, оказываемого на вращение Земли телами Солнечной системы (см. § 17), ось вращения Земли совершает в пространстве очень сложное движение. Прежде всего, она медленно описывает конус, оставаясь все время наклоненной к плоскости движения Земли под углом около 66°,5 (рис. 16). Это движение земной оси называется *прецессионным*,

период его около 26 000 лет, и оно определяет среднее направление оси в пространстве в различные эпохи. Кроме того, ось вращения Земли совершает различные мелкие колебания около своего среднего положения, главные из которых имеют период 18,6 года *) и называются *нутацией* земной оси.

Вследствие прецессии и нутации земной оси взаимное расположение полюсов мира и полюсов эклиптики, а следовательно, небесного экватора и эклиптики, непрерывно изменяется. Полюс мира, определяемый средним направлением оси вращения Земли, т. е. обладающий только прецессионным движением, называется *средним полюсом мира*. *Истинным полюсом мира* называется полюс, определяемый действительным направлением земной оси, т. е. обладающий и прецессионным и нутационным движением.

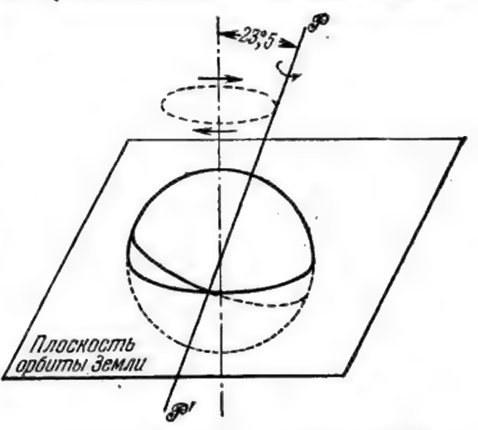


Рис. 16. Прецессионное движение земной оси.

Средний полюс мира какой-нибудь эпохи определяет положение *среднего экватора* и *средней точки весеннего равноденствия* для этой же эпохи. Истинный полюс мира определяет положение *истинного экватора* и *истинной точки весеннего равноденствия*.

Средний полюс мира вследствие прецессии за 26 000 лет описывает около полюса эклиптики окружность радиусом 23°,5. За один год перемещение среднего полюса мира на небесной сфере составляет около 50",3. На такую же величину за год перемещаются по эклиптике и равноденственные точки, двигаясь с востока на запад, т. е. навстречу видимому годичному движению Солнца. Это явление и называется *прецессией*, или *предварением равноденствий*, так как Солнце попадает в равноденственные точки раньше, чем на то же самое место на фоне звезд.

Прецессионное движение полюса мира вызывает изменение координат звезд с течением времени.

В эклиптической системе координат в результате прецессии астрономические долготы всех звезд непрерывно возрастают (на 50",3 в год), так как они отсчитываются от точки весеннего равноденствия в сторону, противоположную движению этой точки по эклиптике.

Астрономические широты звезд не изменяются.

---

*) Этот период равен периоду обращения узлов лунной орбиты, так как нутация есть следствие действия притяжения Луны на земной сфероид.

Влияние прецессии на прямые восхождения и склонения звезд выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\alpha}{dt} &= m + n \sin\alpha \operatorname{tg}\delta, \\ \frac{d\delta}{dt} &= n\cos\alpha. \end{aligned}\right\} \qquad (1.50)$$

Здесь $\frac{d\alpha}{dt}$ и $\frac{d\delta}{dt}$ — изменения координат за год, m — годичная прецессия по прямому восхождению, n — годичная прецессия по склонению. Величины m и n с течением времени изменяются очень медленно и их можно считать постоянными (для 2000 г. $m = 3^s{,}0742$; $n = 20''{,}038$).

Значения средних годичных изменений экваториальных координат α и δ в результате прецессии даны в отделе «Таблицы», табл. 25.

Истинный полюс мира описывает вокруг среднего полюса сложную кривую. Движение его на небесной сфере совершается приблизительно по эллипсу, большая ось которого равна $18''{,}4$, а малая — $13''{,}7$. Истинный полюс мира движется по эллипсу в направлении против движения часовой стрелки, если смотреть на небесную сферу изнутри, и совершает один оборот за 18,6 года. Это движение истинного полюса мира вокруг среднего и называется *нутацией*.

Влияние нутации на прямые восхождения и склонения звезд выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} \alpha - \alpha_0 &= \Delta\psi(\cos\varepsilon + \sin\varepsilon\sin\alpha_0\operatorname{tg}\delta_0) - \Delta\varepsilon\cos\alpha_0\operatorname{tg}\delta_0, \\ \delta - \delta_0 &= \Delta\psi\sin\varepsilon\cos\alpha_0 + \Delta\varepsilon\sin\alpha, \end{aligned}\right\} \qquad (1.51)$$

где α_0 и δ_0 — координаты звезды относительно среднего экватора, α и δ — координаты звезды относительно истинного экватора, $\Delta\psi$ — долгопериодические члены нутации в долготе, меняющиеся в пределах $\pm 18''$, $\Delta\varepsilon$ — долгопериодические члены нутации в наклонении, меняющиеся в пределах $\pm 10''$, ε — наклонение эклиптики к экватору.

Влияние нутации на астрономические долготы светил сводится к тому, что истинная точка весеннего равноденствия, перемещаясь по эклиптике от средней точки весеннего равноденствия на дугу $\Delta\psi$ (нутация в долготе), изменяет астрономические долготы светил на такую же величину, т. е.

$$\lambda - \lambda_0 = \Delta\psi,$$

где λ_0 — долгота, отсчитанная от средней точки весеннего равноденствия, λ — долгота от истинной точки весеннего равноденствия.

§ 12. Аберрация

Аберрацией называется явление, состоящее в том, что движущийся наблюдатель видит светило несколько в ином направлении, чем он видел бы его в тот же момент, если бы находился в покое.

Аберрацией называется также и сама разность между наблюдаемым, *видимым* направлением от наблюдателя к светилу и *истинным*, т. е. тем, какое было бы в тот же момент, если бы наблюдатель был неподвижен.

Пусть в точке K (рис. 17) находится наблюдатель и крест нитей окуляра инструмента, а в точке O — объектив инструмента. Наблюдатель движется по направлению KA со скоростью v. Луч света от звезды σ встречает середину объектива инструмента в точке O и, распространяясь со скоростью c, за время τ пройдет расстояние $OK = c\tau$ и попадет в точку K. Но изображение звезды на крест нитей не попадет, потому что за это же время τ наблюдатель и крест нитей переместятся на величину $KK_1 = v\tau$ и окажутся в точке K_1. Для того чтобы изображение звезды попало на крест нитей окуляра, надо инструмент установить не по истинному направлению на звезду $K\sigma$, а по направлению K_0O и так, чтобы крест нитей находился в точке K_0 отрезка $K_0K = KK_1 = v\tau$.

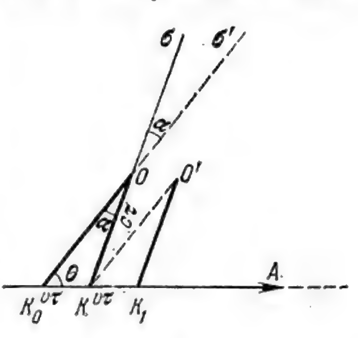


Рис. 17. Влияние аберрации света на видимое положение светила на небе.

Следовательно, видимое направление на звезду $K_0\sigma'$ должно составить с истинным направлением $K\sigma$ угол α, который и называется *аберрационным смещением* звезды. Из треугольника K_0OK следует:

$$\left.\begin{aligned} \sin\alpha &= \frac{v}{c}\sin\theta, \\ \alpha &= 206\,265'' \frac{v}{c}\sin\theta, \end{aligned}\right\} \tag{1.52}$$

где θ — угловое расстояние видимого направления на звезду от апекса движения наблюдателя, т. е. от точки, в которую направлена скорость движения наблюдателя.

Наблюдатель, находящийся на поверхности Земли, участвует в двух ее основных движениях: 1) в суточном вращении вокруг оси и 2) в годичном движении Земли вокруг Солнца. Поэтому различают *суточную* и *годичную аберрации*.

а) Суточная аберрация. Скорость суточного вращения наблюдателя

$$v = v_0 \cos\varphi',$$

где v_0 — скорость наблюдателя, находящегося на экваторе, а φ' — геоцентрическая широта наблюдателя. Смещение светила вследствие суточной аберрации согласно формуле (1.52) будет:

$$\sin\alpha = \frac{v_0\cos\varphi'}{c}\sin\theta, \tag{1.53}$$

где θ — угловое расстояние по дуге большого круга от видимого положения звезды до точки востока, так как суточное вращение Земли происходит с запада на восток и движение наблюдателя, следовательно, направлено также на восток. Если в формулу (1.53) подставить числовые значения $v_0 = 0{,}464$ км/с и $c = 3 \cdot 10^5$ км/с, то получим

$$\alpha = 0'',319 \cos \varphi' \sin \theta,$$

или

$$\alpha = 0^s,021 \cos \varphi' \sin \theta.$$

Число $k' = 0'',319 = 0^s,021$ называется *коэффициентом суточной аберрации*.

Влияние суточной аберрации на координаты светил можно вычислить по формулам:

$$\left.\begin{aligned} z' - z &= -k' \cos \varphi' \cos z \sin A, \\ A' - A &= -k' \cos \varphi' \cos A \operatorname{cosec} z, \\ \delta' - \delta &= k' \cos \varphi' \sin \delta \sin t, \\ t - t' = \alpha' - \alpha &= k' \cos \varphi' \cos t \sec \delta. \end{aligned}\right\} \quad (1.54)$$

Здесь z, A, δ, t и α — истинные координаты, а z', A', δ', t' и α' — видимые. Так как коэффициент суточной аберрации k' мал, то в правых частях формул (1.54) вместо геоцентрической широты φ' можно взять астрономическую широту φ и вместо истинных координат — видимые.

б) Годичная аберрация. Скорость годичного движения наблюдателя есть скорость движения Земли по орбите. Если средняя скорость движения Земли на орбите $v_{ср} = 29{,}765$ км/с, то смещение светила вследствие годичной аберрации согласно формуле (1.52) будет:

$$\alpha = \frac{206\,265'' \cdot 29{,}765}{3 \cdot 10^5} \sin \theta$$

или

$$\alpha = 20'',496 \sin \theta.$$

Число $k_0 = 20'',496$ называется *постоянной* аберрации.

Если $\theta = 90^\circ$ (звезда находится в полюсе эклиптики), то

$$\alpha = 20'',496,$$

и так как апекс движения наблюдателя перемещается за год по эклиптике на 360°, то звезда, находящаяся в полюсе эклиптики, описывает в течение года около своего истинного положения круг с радиусом 20",496. Все другие звезды описывают эллипсы с полуосями 20",496 и 20",496 $\sin \beta$, где β — эклиптическая широта звезды. Для звезд, находящихся в плоскости эклиптики ($\beta = 0$), эллипс обращается в отрезок дуги длиной 41",00.

Влияние годичной аберрации на эклиптические координаты светил можно вычислить по формулам

$$\left.\begin{aligned} \beta' - \beta &= -k_0 \sin (L_\odot - \lambda) \sin \beta, \\ \lambda' - \lambda &= -k_0 \cos (L_\odot - \lambda) \sec \beta, \end{aligned}\right\} \quad (1.55)$$

где β и λ — истинные координаты, β' и λ' — видимые координаты, $L_\odot$ — долгота Солнца. Так как постоянная аберрации k_0 мала, то в правых частях формул (1.55) вместо истинных координат можно брать видимые.

Влияние годичной аберрации на прямые восхождения и склонения звезд выражается следующими формулами:

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha &= -k_0 (\sin \alpha \sin L_\odot + \cos \alpha \cos L_\odot \cos \varepsilon) \sec \delta + \\ &\quad + k_0 e (\sin \alpha \sin \omega + \cos \alpha \cos \omega \cos \varepsilon) \sec \delta, \\ \delta' - \delta &= -k_0 \sin L_\odot \cos \alpha \sin \delta - \\ &\quad - k_0 \cos L_\odot \cos \varepsilon (\operatorname{tg} \varepsilon \cos \delta - \sin \alpha \sin \delta) + \\ &\quad + k_0 e [\sin \omega \cos \alpha \sin \delta + \cos \omega \cos \varepsilon (\operatorname{tg} \varepsilon \cos \delta - \sin \alpha \sin \delta)], \end{aligned}\right\} \quad (1.56)$$

где α и δ — истинные координаты светила, α' и δ' — видимые координаты светила, $L_\odot$ — долгота Солнца, ω — долгота перигелия (см. § 16), ε — наклонение эклиптики к экватору, e — эксцентриситет земной орбиты ($k_0 e = 0'',34$).

Для практических вычислений формулам (1.56) придают следующий сокращенный вид (без членов с e):

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha &= Cc + Dd, \\ \delta' - \delta &= Cc' + Dd', \end{aligned}\right\} \quad (1.57)$$

где $C = -k_0 \cos L_\odot \cos \varepsilon$ и $D = -k_0 \sin L_\odot$ зависят только от долготы Солнца, а

$$c = \frac{1}{15} \cos \alpha \sec \delta, \qquad d = \frac{1}{15} \sin \alpha \sec \delta;$$

$$c' = \operatorname{tg} \varepsilon \cos \delta - \sin \alpha \sin \delta, \quad d' = \cos \alpha \sin \delta$$

зависят только от координат светила (при этом α и α' выражены в единицах времени).

Кроме того, если в формулах (1.57) положить

$$C = h \sin H, \quad D = h \cos H, \quad i = C \operatorname{tg} \varepsilon,$$

то им можно придать еще следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} \alpha' - \alpha &= \frac{1}{15} h \sin (H + \alpha) \sec \delta, \\ \delta' - \delta &= h \cos (H + \alpha) \sin \delta + i \cos \delta. \end{aligned}\right\} \quad (1.58)$$

§ 13. Видимые, истинные и средние координаты светил

Координаты светила, полученные непосредственно из наблюдений, исправленных за инструментальные ошибки и рефракцию, называются *видимыми* координатами (α', δ') светила в момент наблюдения t.

Если из видимых координат исключить влияние суточной и годичной аберраций (см. § 12), то мы получим *истинные* координаты (α, δ) светила в момент наблюдения t.

Если из истинных координат исключить влияние нутации (см. § 11), то мы получим *средние* координаты (α_0, δ_0) светила в момент наблюдения t.

Средние координаты звезд, полученные для момента наблюдений t, можно затем перевести на начало какого-нибудь года T, учитывая влияние прецессии (см. § 11) за время $(T - t)$.

В звездных каталогах даются средние координаты звезд для начала какого-либо года, которое называется *равноденствием каталога*. В отделе «Таблицы», в табл. 26 приведены средние места 871 звезды для равноденствия 1975,0.

Формулы и коэффициенты для приведения средних координат светил к их видимым и истинным координатам даются в Астрономическом Ежегоднике СССР на каждый год.

§ 14. Вычисление моментов восхода, захода и кульминации светил. Сумерки

а) В о с х о д и з а х о д с в е т и л. Момент пересечения светилом математического горизонта, когда оно переходит из невидимой части небесной сферы в видимую, называется *восходом* светила, а когда оно переходит из видимой части в невидимую — *заходом*.

Часовой угол t восхода и захода определяется по формуле

$$\cos t = \frac{\cos(90^\circ + \rho + R - p) - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}, \tag{1.59}$$

где ρ — рефракция в горизонте, принимаемая обычно равной $35'$, R — угловой радиус светила, p — его горизонтальный параллакс.

По формуле (1.59) часовые углы восхода и захода вычисляются только для Луны. В этом случае $R = 16'$, $p = 58'$, $\rho = 35'$ и формула (1.59) принимает вид

$$\cos t = \frac{\sin 7' - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}. \tag{1.60}$$

В случае вычисления часовых углов восхода и захода Солнца ($R = 16'$ и $\rho = 35'$) суточный горизонтальный параллакс не учитывается, и формула (1.59) принимает вид

$$\cos t = \frac{-\sin 51' - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi \cos\delta}. \tag{1.61}$$

В случае звезд и планет можно пренебречь также и их радиусами и вычислять часовой угол восхода и захода по формуле

$$\cos t = \frac{-\sin 35' - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}. \qquad (1.62)$$

Наконец, если пренебречь и рефракцией, то часовой угол восхода и захода светила вычисляется по формуле

$$\cos t = -\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta. \qquad (1.63)$$

Каждое из приведенных выше уравнений дает два значения для t: одно значение, лежащее в пределах от 0 до 180°, — для часового угла захода t_W, другое значение, лежащее в пределах от 180 до 360°, — для часового угла восхода t_E.

Вычислив t_W или t_E, можно определить моменты захода или восхода светила по местному звездному времени по формулам

$$\left.\begin{aligned} s_W &= \alpha_W + t_W, \\ s_E &= \alpha_E + t_E, \end{aligned}\right\} \qquad (1.64)$$

где α_W и α_E — прямые восхождения светила в моменты захода и восхода светила.

Затем эти моменты звездного времени по правилу, изложенному в § 4, можно перевести в местное среднее солнечное время, а по формулам § 5 найти моменты восхода и захода в любой системе счета времени.

При вычислении моментов восхода и захода Солнца, если нет необходимости знать их в системе звездного времени, часовые углы t_E или t_W, увеличенные на 12^h, дают нам моменты этих явлений в системе местного истинного солнечного времени [см. формулу (1.12), § 4], от которой легко перейти к другим системам счета времени.

Если координаты светила в течение суток изменяются заметным образом (как, например, у Луны), то t_W и t_E надо вычислять с тем значением склонения, которое светило имеет при своем заходе и восходе.

Обычно поступают следующим образом: по формулам (1.59) и (1.64) вычисляют приближенные моменты захода и восхода светила, беря его координаты из календаря, например, для полудня или для момента верхней кульминации. Затем находят координаты светила для этих приближенных моментов и с ними, по соответствующим формулам, вычисляют окончательные моменты захода и восхода светила.

У всех светил, кроме Луны, Меркурия, а иногда и Венеры, изменением склонения в течение суток можно пренебречь.

Азимут светила при восходе и заходе, с учетом рефракции, радиуса и параллакса светила, вычисляется по формуле

$$\sin A = \frac{\cos \delta \sin t}{\sin (90° + \rho + R - p)}; \qquad (1.65)$$

при этом t вычисляется по формуле (1.63), A находится в одном с ним квадранте.

В Переменной части АК ВАГО в эфемеридах Солнца, Луны и планет даются моменты восхода, захода и азимуты в эти моменты для пункта с географическими координатами $\varphi = +56°$ и $\lambda = 0°$. Моменты даются по всемирному времени. Получение соответствующих величин для пункта с другими географическими координатами производится с помощью интерполяционных вычислений (см. объяснение к эфемеридам в переменной части АК ВАГО).

б) Кульминация светил. Момент пересечения светилом небесного меридиана называется *кульминацией светила*. Различают кульминации верхнюю и нижнюю. *Верхняя кульминация* имеет место на верхней части небесного меридиана, $\mathscr{P}ZAS\mathscr{P}'$ (см. рис. 4), при этом светило достигает максимальной высоты над горизонтом и минимального зенитного расстояния. *Нижняя кульминация* совершается на нижней части небесного меридиана $\mathscr{P}NA'Z'\mathscr{P}'$, при этом светило достигает минимальной высоты над горизонтом и максимального зенитного расстояния.

Верхняя кульминация может быть к северу от зенита (на дуге $Z\mathscr{P}$) и к югу от зенита (на дуге $ZAS\mathscr{P}'$).

В момент верхней кульминации светила к югу от зенита имеем

$$\left.\begin{aligned} z &= \varphi - \delta, \\ h &= 90° - \varphi + \delta; \end{aligned}\right\} \qquad (1.66)$$

в момент верхней кульминации к северу от зенита

$$\left.\begin{aligned} z &= \delta - \varphi, \\ h &= 90° + \varphi - \delta; \end{aligned}\right\} \qquad (1.67)$$

в момент нижней кульминации светила

$$\left.\begin{aligned} z &= 180° - \varphi - \delta, \\ h &= \varphi + \delta - 90°. \end{aligned}\right\} \qquad (1.68)$$

В момент верхней кульминации светила на каком-нибудь географическом меридиане местное звездное время на этом меридиане равно прямому восхождению светила, т. е.

$$s = \alpha; \qquad (1.69)$$

в момент нижней кульминации

$$s = \alpha + 12^{h}. \qquad (1.70)$$

Зная местное звездное время кульминации светила, по правилу § 4 легко вычислить местное среднее солнечное время его кульминации, а по формулам § 5 выразить этот момент в любой системе счета времени.

В переменной части АК ВАГО моменты верхних кульминаций Луны и планет даны по всемирному времени, т. е. для меридиана Гринвича. Определение моментов кульминаций этих светил,

а также моментов верхних кульминаций Солнца на других географических меридианах производится путем интерполяционных вычислений (см. объяснения к эфемеридам в переменной части АК ВАГО).

в) Сумерки. Часть суток после захода Солнца называется *вечерними сумерками*, а перед его восходом — *утренними сумерками*. Различают сумерки *гражданские* и *астрономические*.

Вечерние гражданские сумерки начинаются в момент захода Солнца и продолжаются до тех пор, пока высота центра диска Солнца не станет равной $h_\odot = -7°$. Утренние гражданские сумерки начинаются перед восходом Солнца, когда высота его центра $h_\odot = -7°$, и кончаются в момент восхода Солнца.

Астрономические сумерки (утренние и вечерние) длятся дольше, так как за их начало или конец принимается тот момент, когда высота центра Солнца $h_\odot = -18°$.

Когда кончаются вечерние гражданские сумерки, то приходится прибегать к искусственному освещению; на небе видны лишь наиболее яркие звезды. В конце вечерних астрономических сумерек исчезают последние следы вечерней зари, наступает ночь, а на небе видны уже и более слабые звезды.

Продолжительность сумерек τ зависит от географической широты места φ и от склонения Солнца $\delta_\odot$ и вычисляется по формуле

$$\cos(t + \tau) = \frac{\sin h_\odot - \sin\varphi \sin\delta_\odot}{\cos\varphi \cos\delta_\odot}, \qquad (1.71)$$

где высота центра Солнца $h_\odot = -7°$ для гражданских и $h_\odot = -18°$ для астрономических сумерек, а часовой угол t, восхода или захода Солнца, находится по формуле (1.61).

Гражданские сумерки могут длиться от захода до восхода Солнца (вечерние сумерки сразу же переходят в утренние) севернее географической широты 59°,5.

Астрономические сумерки могут длиться от захода до восхода Солнца, севернее географической широты 48°,5.

Для приближенного определения продолжительности гражданских и астрономических сумерек в отделе «Таблицы» даны табл. 21 и 22.

§ 15. Физические координаты Солнца, Луны и планет

Для астрофизических наблюдений поверхности Солнца, Луны и некоторых планет требуется знание величин, которые определяют ориентировку данного небесного тела по отношению к наблюдателю и его вид в телескоп. Эти величины носят название *физических координат*.

Для определения положения деталей на диске Солнца, Луны и планет служат специальные системы координат, подобные географической. Иногда такие системы координат по аналогии с географической системой называют *ареографической* (от греческого

имени Арес — бога войны Марса), *йовиграфической* (от латинского Jovis — родительный падеж от слова Юпитер), *селенографической* (Селена — богиня Луны), *гелиографической* (Гелиос — бог Солнца). Счет широт в этих системах ведется, как всегда, от экватора (к северу положительные, к югу отрицательные), а счет долгот — от некоторого меридиана, принятого за начальный.

Таким меридианом для Солнца считается меридиан Кэррингтона, который 1 января 1854 г. в 0^h всемирного времени прошел через восходящий узел солнечного экватора *). Период полного сидерического оборота для него принят равным 25,38 средних суток. Для земного наблюдателя промежуток времени между двумя прохождениями меридиана Кэррингтона через центр видимого диска Солнца (синодический оборот) равен 27,28 средних суток. Счет долгот ведется в направлении вращения Солнца, т. е. к западу.

Для Луны начальным меридианом считается тот, который проходит через видимый из центра Земли центр лунного диска, когда Луна находится одновременно на линии узлов и на линии апсид своей орбиты. Хотя Луна обращена к Земле одной стороной, вследствие либрации и параллакса положение начального меридиана может отклоняться от центрального на угол до 7°. Счет долгот на Луне ведется в обе стороны: к востоку — долготы положительные, к западу — отрицательные.

До 1961 г. восток и запад на Луне считались по земным странам света, т. е. западной половиной на лунном диске считалась правая (для невооруженного глаза). Космические полеты к Луне потребовали пересмотра этой системы. В настоящее время направление к востоку считается в сторону вращения Луны (т. е. к Морю Кризисов), к западу—в противоположную сторону (к Океану Бурь).

За начальный меридиан Марса принят меридиан, проходящий через Центральный залив (Sinus Meridiani). Для уточнения счета долгот на диске Марса принято считать, что в 0 час. 15 января 1905 г. долгота центрального меридиана была $L_0=344°,41$.

Юпитер имеет две условные системы счета долгот, рассчитанные на периоды вращения экваториальной зоны (I система) и средних широт (II система). Период вращения I системы составляет $9^h50^m30^s,0$, II системы — $9^h55^m40^s,6$.

В отличие от Солнца, долготы Марса и Юпитера отсчитываются к востоку, т. е., навстречу их вращению. Впрочем, для Марса введена еще одна система отсчета долгот, применяемая в космонавтике: в ней счет долгот ведется в сторону вращения планеты (как и на Земле). В Астрономическом Календаре, как и в других астрономических ежегодниках, принята пока первая (астрономическая) система долгот.

---

*) Понятие восходящего узла для солнечного экватора имеет тот же смысл, что и для орбит планет и комет (с. 59—60), так как можно представить себе, что экватор Солнца — это орбита, описываемая некоторой его точкой.

Начало радиолокационного картографирования Венеры потребовало установления системы счета долгот и для нее. Координаты проекции северного полюса Венеры на небесную сферу приняты равными: $\alpha = 272°,8$, $\delta = +67°,2$ (1950,0); сидерический (звездный) период вращения 243,0 суток, направление вращения обратное. Нулевым меридианом считается центральный меридиан Венеры, который был виден из центра Земли в 0 час. 20 июня 1964 г. (по всемирному времени). Счет долгот идет от 0° до 360° навстречу вращению так, чтобы в ходе вращения долгота центрального меридиана возрастала.

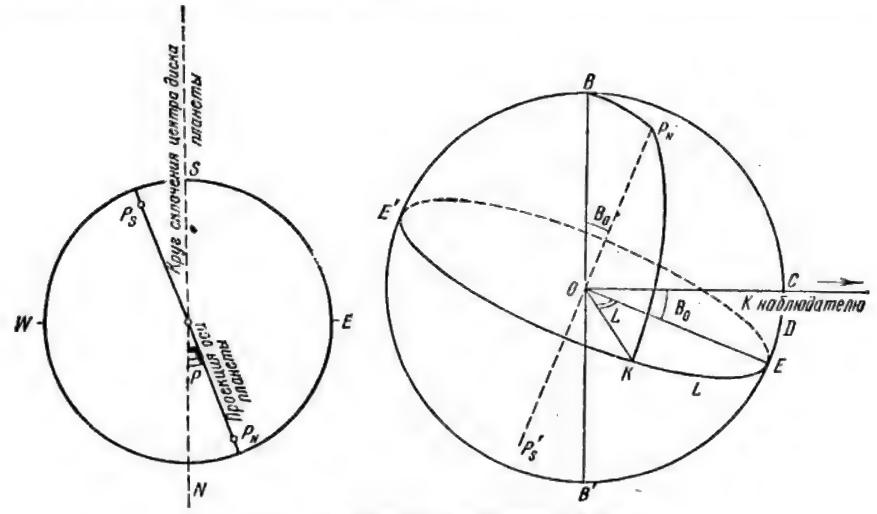


Рис. 18. Физические координаты планет.

Введена система планетографических координат и для Меркурия, причем координаты северного полюса Меркурия приняты равными $\alpha = 280°,9$, $\delta = 61°,4$. Период вращения планеты 58,6 суток, вращение прямое. Ось вращения принята перпендикулярной к плоскости его орбиты, за нулевой меридиан принят тот, который проходил через подсолнечную точку в момент первого прохождения Меркурия через перигелий в 1950 г. (это было 7 января 1950 г.). Счет долгот ведется так же, как и для Венеры.

Основными физическими координатами, определяющими ориентировку небесного тела относительно наблюдателя, являются (рис. 18): P — позиционный угол проекции оси вращения на небесную сферу, отсчитываемый от круга склонения, проходящего через центр диска светила (для северного полюса считается положительным к востоку); B_0 — угол наклона оси светила к картинной плоскости или равная ему широта центра видимого диска; L — долгота центрального меридиана. Угол B_0 считается положительным, когда северный конец оси светила наклонен к Земле, и отрицательным, когда он наклонен от Земли.

Для Луны углы L и B_0 обычно обозначаются λ_0 и β_0 и называются также оптической либрацией Луны по долготе и по широте. Кроме того, для Луны в Календаре приводится угол ψ — позиционный угол лунного терминатора, отсчитываемый от северной точки диска Луны до северного рога серпа против часовой стрелки. Этот же угол определяет положение диаметра, соединяющего оба рога серпа.

В Астрономическом Календаре ВАГО на каждый год приводятся величины P, B_0, L_0 для Солнца через каждые 5 дней, для Луны P, λ_0, β_0, ψ через 2 дня, для Марса P, B_0, L_0 через 4 дня, для Юпитера P, B_0, L_I, L_II через 8 дней, для Сатурна P, B_0 через 8 дней. Все углы даются с точностью до 0°,1.

Для Юпитера, имеющего заметное сжатие у полюсов, даются видимые размеры полярного и экваториального диаметров. Соотношение между ними не всегда равно действительному, так как оно зависит еще и от ориентировки эллипсоида планеты по отношению к Земле. Если планета обращена к Земле полюсом (как бывает, например, у Урана), ее видимое сжатие становится равным нулю, если же к Земле обращен экватор планеты, то оно наибольшее. Вообще же видимое сжатие ε' выражается через истинное сжатие ε простой формулой

$$\varepsilon' = \varepsilon \cos^2 B_0. \qquad (1.72)$$

Видимый полярный диаметр планеты d_p выражается через ее видимый экваториальный диаметр d_e и видимое сжатие ε' следующим образом:

$$d_p = d_e (1 - \varepsilon'). \qquad (1.73)$$

Для кольца Сатурна даются видимые размеры большой и малой осей a и b, а также их отношение (раскрытие кольца)

$$\frac{b}{a} = \sin B_0. \qquad (1.74)$$

Эта формула может служить для определения B_0 по a и b. Угол B_0 для Сатурна изменяется от 0 до 28°. При $B_0 = 0°$ наступает «исчезновение» колец.

Для Луны, Меркурия, Венеры и Марса в Календаре дается также значение фазы Φ_0 (см. § 17, формула (1.81)), а для Солнца и Луны — видимый радиус диска r.

§ 16. Системы координат в пространстве

При изучении движений небесных тел используют, кроме рассмотренных выше систем астрономических координат на небесной сфере (см. § 3, гл. I), также системы координат, с помощью которых можно фиксировать положения тел в пространстве. Одна система координат отличается от другой своим началом и выбором основной координатной плоскости. Поэтому различают *геоцентри-*

ческие системы координат (с началом в центре Земли), *гелиоцентрические* (с началом в центре Солнца), *планетоцентрические* (с началом в центре планеты) и др.

В качестве основной выбирают обычно плоскость эклиптики (точное определение этой плоскости см. ниже в § 17) или плоскость экватора. В зависимости от этого будем иметь эклиптические или экваториальные системы координат.

Кроме того, различают *сферические* и *прямоугольные* координаты.

Вследствие прецессии и нутации (см. § 11 гл. I) положения эклиптики и экватора, а значит, и точки весеннего равноденствия ♈ меняются с течением времени. Поэтому при необходимости точного определения положений небесных тел указывают эпоху (момент времени), которой соответствует данная неподвижная система координат.

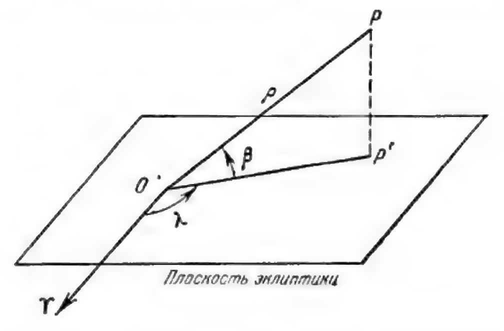


Рис 19. Геоцентрические сферические эклиптические координаты.

Геоцентрические системы координат. Эти системы координат используются при изучении движений относительно Земли таких небесных тел как Луна, искусственные спутники Земли и другие космические аппараты, а также при определении геоцентрических положений небесных тел, движущихся вокруг Солнца.

Сферические эклиптические координаты (рис. 19). Начало координат O в центре Земли. Плоскость эклиптики — основная координатная плоскость. Главная ось направлена к точке ♈. Координатами точки P являются геоцентрическое расстояние ρ от центра Земли до P и углы λ, β, совпадающие с эклиптическими долготой и широтой.

Сферические экваториальные координаты. Начало и направление главной оси те же. Основной является плоскость небесного экватора. Координатами точки P являются геоцентрическое расстояние ρ и углы α, δ, совпадающие с прямым восхождением и склонением.

Прямоугольные эклиптические координаты. Начало там же. Плоскость эклиптики — основная координатная плоскость. Ось Ox направлена к точке ♈, ось Oy — на 90° к востоку, а ось Oz — к северу, перпендикулярно к плоскости xy. На рис. 20 P' и P_z' — проекции точки P на плоскость xy и на ось Oz соответственно, а P_x, P_y — проекции точки P' на оси Ox и Oy. Длины отрезков OP_x, OP_y, OP_z с соответствующим знаком представляют собой

прямоугольные координаты точки P и обозначаются через X, Y, Z соответственно. Если направление от O к точке P_x совпадает с положительным направлением оси Ox, то координата X считается положительной, в ином случае — отрицательной. То же самое относится к координатам Y, Z.

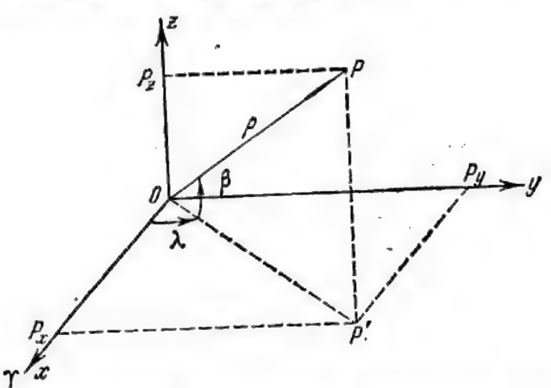


Рис. 20. Прямоугольные геоцентрические эклиптические координаты.

Связь между координатами X, Y, Z и сферическими координатами ρ, λ, β (они также указаны на рис. 20) выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} X &= \rho\cos\beta\cos\lambda, \\ Y &= \rho\cos\beta\sin\lambda, \\ Z &= \rho\sin\beta, \end{aligned}\right\} \qquad (1.75)$$

или

$$\operatorname{tg}\lambda = \frac{Y}{X}, \qquad \operatorname{tg}\beta = \frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}}. \qquad (1.75^*)$$

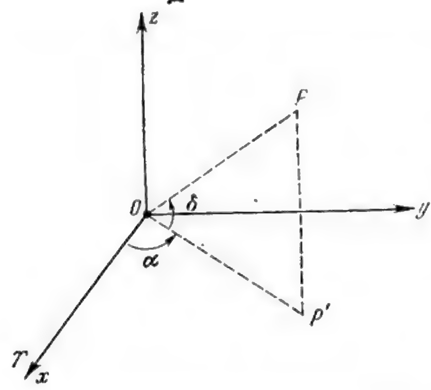


Рис. 21. Прямоугольные геоцентрические экваториальные координаты.

При определении λ надо учитывать знаки Y и X, которые совпадают со знаками $\sin\lambda$ и $\cos\lambda$ соответственно. При $Z < 0$ угол $\beta < 0$.

Прямоугольные экваториальные координаты (рис. 21). Начало и направление оси Ox те же. Плоскость xy совпадает с плоскостью экватора и ось Oz направлена к северному полюсу мира. Связь между X, Y, Z и сферическими экваториальными координатами ρ, α, δ выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} X &= \rho\cos\delta\cos\alpha, \\ Y &= \rho\cos\delta\sin\alpha, \\ Z &= \rho\sin\delta, \end{aligned}\right\} \qquad (1.76)$$

или

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg}\alpha &= \frac{Y}{X}, \\ \operatorname{tg}\delta &= \frac{Z}{\sqrt{X^2+Y^2}}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.76^*)$$

Гелиоцентрические системы координат. Эти системы координат используются при изучении движения небесных тел вокруг Солнца.

Сферические эклиптические координаты. Рассматривают гелиоцентрическую небесную сферу (с центром в центре S Солнца). Пересечение этой небесной сферы с плоскостью движения Земли

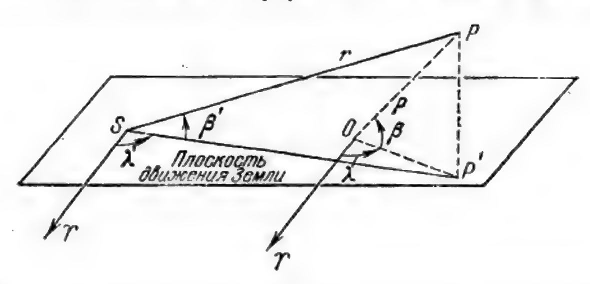


Рис. 22. Сферические геоцентрические и гелиоцентрические эклиптические координаты.

вокруг Солнца образует *гелиоцентрическую эклиптику*; пересечение с плоскостью, параллельной плоскости земного экватора, образует *гелиоцентрический небесный экватор*. Фиксируют гелиоцентрическую точку весеннего *равноденствия* ♈′ (обычно ее обозначают ♈, так же как и геоцентрическую точку весеннего равноденствия). Направления S♈ и S♈′ параллельны между собой.

Эклиптические координаты β' (широта) и λ' (долгота) на гелиоцентрической небесной сфере называют *гелиоцентрическими*. Это — координаты, которые определял бы воображаемый наблюдатель в центре Солнца. Расстояние r от Солнца и углы λ', β' являются *сферическими эклиптическими координатами* (рис. 22).

Прямоугольные эклиптические координаты. Основная плоскость xy совпадает с плоскостью эклиптики. Оси Sx, Sy, Sz параллельны в пространстве осям Ox, Oy, Oz геоцентрической системы координат. Схема аналогична указанной на рис. 20. Прямоугольные координаты X, Y, Z точки P связаны с ее сферическими координатами r, λ', β' формулами, аналогичными (1.72), (1.72*).

Прямоугольные экваториальные координаты. Плоскость xy совпадает с плоскостью, параллельной плоскости земного экватора. Оси Sx, Sy, Sz параллельны соответствующим осям геоцентрической системы координат.

Формулы преобразования прямоугольных координат. Эти формулы дают возможность переходить от координат точки P в одной системе к координатам в другой системе. Связь между одноименными (гео- или гелиоцентрическими) экваториальными ($\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$) и эклиптическими (x, y, z) координатами выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} \bar{x} &= x, & x &= \bar{x}, \\ \bar{y} &= y\cos\varepsilon - z\sin\varepsilon, \quad \text{или} & y &= \bar{y}\cos\varepsilon + \bar{z}\sin\varepsilon, \\ \bar{z} &= y\sin\varepsilon + z\cos\varepsilon, & z &= -\bar{y}\sin\varepsilon + \bar{z}\cos\varepsilon, \end{aligned}\right\} \qquad (1.77)$$

где ε — наклон эклиптики к экватору. В эпоху 1950,0

$$\varepsilon = 23°26'44'',84 \text{ и } \sin\varepsilon = 0{,}397881,\ \cos\varepsilon = 0{,}917437. \qquad (1.78)$$

В течение каждого года ε уменьшается на 0'',47.

Связь между одноименными (экваториальными или эклиптическими) геоцентрическими (X, Y, Z) и гелиоцентрическими (x, y, z) координатами выражается формулами

$$\left.\begin{aligned} x &= X - X_{\odot}, \\ y &= Y - Y_{\odot}, \\ z &= Z - Z_{\odot}, \end{aligned}\right\} \qquad (1.79)$$

где $X_{\odot}$, $Y_{\odot}$, $Z_{\odot}$ — геоцентрические координаты Солнца. О вычислении последних см. ниже в § 19.

Планетоцентрические системы координат используются при анализе движений естественных или искусственных спутников вокруг своих планет. Эти системы строятся так же, как геоцентрические системы координат. За основную плоскость выбирают обычно плоскость экватора планеты.

§ 17. Видимые и истинные движения небесных тел Солнечной системы

Под *видимым движением* небесных тел подразумевают обычно их наблюдаемое с Земли перемещение по небесной сфере относительно системы координат, освобожденной от суточного вращения (например, экваториальной системы (α, δ), эклиптической (λ, β)). Грубо говоря, это — перемещение относительно звезд. *Истинные движения* небесных тел — их движения в космическом пространстве, определяемые действующими на эти тела силами. Эти движения астрономы описывают таблицами движения, в которых даются координаты небесного тела в пространстве на различные моменты времени, или аналитическими теориями движения, т. е. соответствующими формулами, позволяющими вычислить эти координаты. Эти таблицы, или теории, позволяют составить *эфемериды* небесных тел — таблицы с координатами этих тел на небесной сфере (например, α, δ) в различные моменты

времени. Эфемерида отражает ожидаемую (на основании теории) видимую траекторию движения.

Характеристики, связанные с суточным вращением небесной сферы (моменты и азимуты восхода и захода и др.), вычисляются так же, как и для всех небесных светил, по известным на данные сутки α, δ или λ, β.

Видимое движение Солнца. В течение года Солнце перемещается среди звезд все время с запада на восток по эклиптике (см. § 2 гл. I), более точное определение которой дано ниже в разделе о возмущенном движении планет. Период видимого обращения Солнца по эклиптике называется *сидерическим* (или *звездным*) годом; он равен 365,256360 средних солнечных суток. Перемещение Солнца по эклиптике неравномерное; наиболее быстрое (около 1°7′ в сутки) в первых числах января и наиболее медленное (около 57′ в сутки) в первых числах июля.

Главные даты годичного движения Солнца:

21 марта: *день весеннего равноденствия*. Координаты центра Солнца $\alpha_{\odot} = \delta_{\odot} = 0$; Солнце пересекает в этот день экватор в точке ♈, переходя из южной полусферы в северную.

22 июня: *день летнего солнцестояния*; $\alpha_{\odot} = 90°$, $\delta_{\odot} = \varepsilon$. Солнце достигает наибольшего северного склонения. Наибольшая полуденная высота Солнца над горизонтом в северном полушарии Земли равна $90° - \varphi + \varepsilon$ (φ — широта места).

23 сентября: *день осеннего равноденствия*; $\alpha_{\odot} = 180°$; $\delta_{\odot} = 0$. Солнце опять пересекает экватор в точке ♎, переходя из северной полусферы в южную.

22 декабря: *день зимнего солнцестояния*; $\alpha_{\odot} = 270°$; $\delta_{\odot} = -\varepsilon = -23^1/_2°$. Солнце достигает наибольшего южного склонения $\delta_{\odot} = -\varepsilon$. Наименьшая полуденная высота Солнца над горизонтом в северном полушарии равна $90° - \varphi - \varepsilon$.

Положения эклиптики, небесного экватора, точки ♈, наклона эклиптики к экватору ε не сохраняются постоянными вследствие прецессии и нутации (см. § 11 гл. I). Поэтому системы координат (α, δ), (λ, β) привязывают к эклиптике, экватору и точке ♈ определенной эпохи (момента времени). Распространены системы координат, отнесенные к эпохе 1900,0 или 1950,0. Рассматривают также системы координат, отнесенные к эклиптике и средней точке ♈ на начало данного года или на данный момент.

Решением Международного астрономического союза в 1976 г. принята новая стандартная эпоха 2000,0, определяемая датой 2000, январь 1,5 (Юлианский день JD 2 451 545,0).

Видимое положение центра Солнца всегда несколько отклоняется как от эклиптики какой-либо эпохи, так и от эклиптики данного момента (мгновенной эклиптики).

Видимое движение планет. Планеты в своем видимом движении всегда остаются вблизи эклиптики (эклиптическая широта β для Плутона в пределах $\pm 17°$, для остальных планет $\pm 5° \div 6°$).

Видимый путь планеты на карте неба — сложная линия с зигзагами и петлями. Бóльшую часть своего видимого пути планеты перемещаются между звездами, как и Солнце, с запада на восток (это — *прямое* движение). Каждая планета через некоторые промежутки времени замедляет свое прямое движение и как бы останавливается (*момент стояния*), после чего начинает перемещаться в обратном направлении (к западу). Продолжительность такого движения, называемого *обратным* (*попятным*), для данной планеты каждый раз примерно одна и та же (для Меркурия около 17^d, для Венеры 41^d, для Марса 70^d и т. д.). Затем наблюдается опять стояние планеты, после чего прямое ее движение возобновляется.

Видимый путь меняется от цикла к циклу, в течение которого планета возвращается примерно на одно и то же место среди звезд.

Когда планета приближается к Солнцу и приобретает ту же эклиптическую долготу, что и Солнце, имеет место *соединение* планеты с Солнцем. Вблизи соединений планета скрывается в лучах Солнца. Условия видимости наименее благоприятные. Условия видимости планет считаются хорошими, если в момент, когда Солнце скрывается под горизонтом, планета находится на 6° и более над горизонтом.

Меркурий и Венеру называют *нижними* планетами, все остальные, кроме Земли, — *верхними*.

Видимое движение нижних планет может быть привязано непосредственно к Солнцу. Различают *верхнее соединение*, во время которого планета обгоняет Солнце (имеет прямое движение, более быстрое, чем Солнце), и *нижнее*, во время которого планета перемещается навстречу Солнцу, имея обратное движение. При некоторых соединениях, когда планета находится очень близко к эклиптике, она проходит за диском Солнца или перед ним. Последнее явление называют *прохождением* планеты по диску Солнца. Для Меркурия оно наблюдалось в последний раз в 1973 г. и будет иметь место в ноябре 1986 г. Для Венеры оно наблюдалось в последний раз в 1882 г., а следующий раз будет иметь место только в июле 2004 г.

После верхнего соединения планета постепенно удаляется от Солнца на восток и видна в *восточной элонгации* (восточном удалении) после захода Солнца как вечерняя «звезда». Венера из-за своей большой яркости часто бывает видна до полного захода Солнца.

По мере удаления от Солнца прямое перемещение планеты замедляется; когда оно становится таким же, какое имеет Солнце (около 1° в сутки), то планета находится на наибольшем расстоянии от Солнца к востоку (в наибольшей восточной элонгации). После этого Солнце догоняет планету и затем после нижнего соединения опережает ее. Планета наблюдается тогда по утрам на востоке в *западной элонгации*. Достигнув наибольшей запад-

ной элонгации, планета снова начинает двигаться быстрее, чем Солнце, и весь цикл повторяется. Наибольшая элонгация Венеры равна около 46°, а Меркурия — в среднем 23° (от 10° до 28°).

Видимое движение верхних планет отличается от движения нижних планет. Угловое расстояние вдоль эклиптики между Солнцем и планетой может быть любым, от 0° до 180°. Все планеты перемещаются между звездами медленнее, чем Солнце. Когда планета расположена в противоположной от Солнца точке небесной сферы (разность эклиптических долгот Солнца и планеты равна 180°), то имеет место *противостояние* (*оппозиция*) планеты. Оно приходится на середину отрезка обратного движения планеты. Условия видимости планеты тогда наилучшие.

Когда долготы Солнца и планеты отличаются на 90° (промежуточное положение между соединением и противостоянием), то планета находится в *квадратуре* (восточной или западной).

Промежуток времени, в течение которого планета возвращается в прежнее положение относительно Солнца, называется ее *синодическим* периодом обращения (S). Его определяют как промежуток времени между двумя последовательными противостояниями или соединениями (для нижних планет одноименными). Значения S см. в табл. 5а, в отделе «Таблицы».

Условия видимости планеты в течение каждого синодического периода в целом повторяются.

Истинное орбитальное движение планет. Путь планеты или какого-нибудь другого небесного тела в пространстве называется *орбитой*. Поэтому поступательное движение планеты, т. е. движение ее центра масс в пространстве, называется *орбитальным*. Его отличают от *вращательного* движения вокруг центра масс. Закономерности орбитального движения каждой планеты определяются силами, действующими на эту планету. Главным образом это силы притяжения по закону Ньютона со стороны Солнца и других планет.

а) Невозмущенное движение. Невозмущенным движением планеты называется такое, которое происходило бы только под влиянием силы притяжения Солнца по закону Ньютона, т. е. такое, которое соответствует точно задаче двух тел (Солнце — планета) в небесной механике. Это движение называют также *кеплеровым*, так как оно подчиняется знаменитым трем законам Кеплера.

Особенности и характеристики невозмущенного движения следующие:

Планета движется вокруг Солнца, оставаясь все время в одной плоскости и описывая эллипс (эллиптическую орбиту), причем Солнце находится в одном из фокусов эллипса.

Наиболее удаленная от Солнца S точка эллиптической орбиты называется *афелием* (A), а наиболее близкая — *перигелием* ($П$). Расстояния SA и $SП$ называются *афелийным* и *перигелийным расстояниями* соответственно.

Большая полуось a эллиптической орбиты рассматривается как *среднее расстояние* планеты от Солнца. Период обращения планеты P зависит от a и отчасти от массы планеты. Движение планеты по орбите происходит неравномерно: вблизи перигелия она движется быстрее, а вблизи афелия медленнее. Средняя скорость движения каждой планеты по своей орбите тем меньше, чем больше ее среднее расстояние от Солнца, точнее, обратно пропорциональна квадратному корню из большой полуоси. (Точные формулы для характеристик невозмущенного движения см. ниже.) Все планеты движутся по своим орбитам в одном направлении.

Эксцентриситеты e планетных орбит малы: наибольшие имеют орбита Меркурия ($e = 0{,}206$) и орбита Плутона ($e = 0{,}249$).

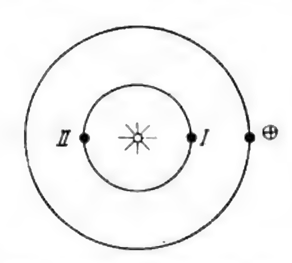


Рис. 23. Положение нижней планеты в моменты нижнего (*I*) и верхнего (*II*) соединений по отношению к Солнцу ☉ и Земле ⊕.

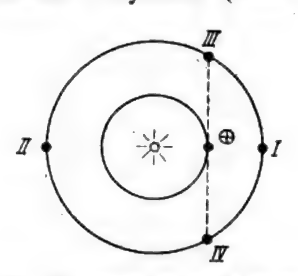


Рис. 24. Положение верхней планеты в моменты противостояния (*I*), соединения (*II*) и квадратур (*III* и *IV*) по отношению к Солнцу ☉ и Земле ⊕.

Поэтому по своей форме они мало отличаются от окружности. Плоскости эллиптических орбит всех планет различны, но очень мало наклонены друг к другу.

Картина невозмущенного движения планет позволяет объяснить в целом особенности видимых движений планет, в частности, обратные движения. Такие понятия, как соединения, противостояния, квадратуры, связаны со взаимным расположением Земли, Солнца и планеты (рис. 23 и 24).

Период обращения любой планеты вокруг Солнца называется *сидерическим*, или *звездным* периодом. Примерно через такой период верхние планеты в своем видимом движении возвращаются на одно и то же место среди звезд. Сидерический период P связан с синодическим периодом S формулами

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E} \text{ — для нижних планет,} \qquad (1.80)$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P} \text{ — для верхних планет,} \qquad (1.80^*)$$

где E — сидерический (звездный) год.

Отсюда получает объяснение наблюдаемая у планет смена фаз. Каждая планета в течение синодического периода занимает различные положения по отношению к Земле и Солнцу, и земной

наблюдатель не всегда видит диск планеты освещенным полностью.

Фаза планеты измеряется отношением площади освещенной части видимого диска ко всей его площади. Угол между направлением с планеты на Солнце и Землю называется *фазовым углом* (рис. 25). При фазовом угле $\psi = 180°$ (планета находится между Солнцем и Землей) фаза равна нулю, так как половина планеты, обращенная к Земле, не освещена совсем; при фазовом угле $\psi = 0$ (Земля и Солнце находятся по одну сторону от планеты) фаза равна 1, видимый диск планеты освещен полностью. В общем случае связь между фазой Φ и фазовым углом ψ определяется формулой

$$\Phi = \cos^2 \frac{\psi}{2}. \qquad (1.81)$$

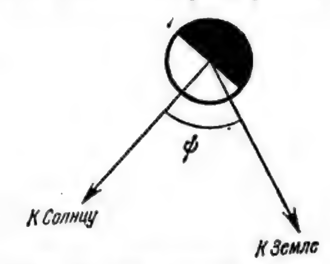


Рис. 25. Фаза планеты. Зачерненная половина планеты не освещена; ψ — фазовый угол.

Фазовый угол для нижней планеты изменяется от 0° (верхнее соединение) до 180° (нижнее соединение) и, следовательно, ее фазы изменяются от нуля до единицы (рис. 26).

Для верхних планет фазовый угол никогда не превышает той максимальной величины, которая достигается в моменты квадратур (т. е. когда Земля видна с планеты в наибольшем удалении



Рис. 26. Полная смена фаз для нижней планеты в течение синодического периода

от Солнца). Для Марса эта величина составляет не более 48°,3, для Юпитера 11°, для всех остальных планет — меньше 11°. Поэтому для Марса фаза всегда не меньше 0,84, а для других верхних планет она всегда очень близка к единице.

б) Элементы невозмущенной орбиты планеты — шесть величин, определяющих кеплерово движение планеты вокруг Солнца.

Два элемента — *большая полуось* (a) и *эксцентриситет* (e) — характеризуют размеры и форму эллиптической орбиты. Для характеристики положения орбиты в пространстве рассматривают гелиоцентрическую небесную сферу, гелиоцентрическую точку ♈, а также используют следующие понятия: *линия узлов* — линия пересечения плоскостей орбит Земли и планеты; *узлы орбиты* — точки на эклиптике, в которых линия узлов пересекает небесную сферу. При этом узел, в котором планета, если ее наблюдать с Солнца, пересекает эклиптику, перемещаясь с юга на север,

называется *восходящим* (обозначают ☊), а противоположный узел — *нисходящим* (☋).

Следующие три элемента (рис. 27) определяют положение плоскости орбиты и ориентацию орбиты в этой плоскости: *наклон орбиты* (i) — угол между плоскостью эклиптики (т. е. плоскостью

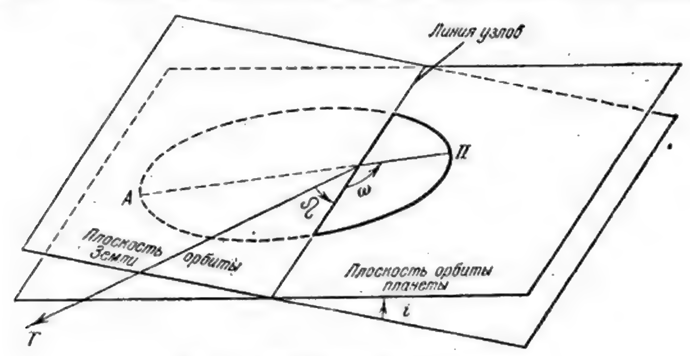


Рис. 27. Элементы орбиты планеты

орбиты Земли) и плоскостью орбиты планеты; *долгота восходящего узла* (☊) — угол между точкой ♈ и восходящим узлом орбиты, отсчитываемым от ♈ вдоль эклиптики с запада на восток; *угловое расстояние перигелия от узла* (или *аргумент перигелия*) (ω) — угол между линией узлов и направлением из Солнца на перигелий орбиты, отсчитываемый от восходящего узла в направлении движения планеты.

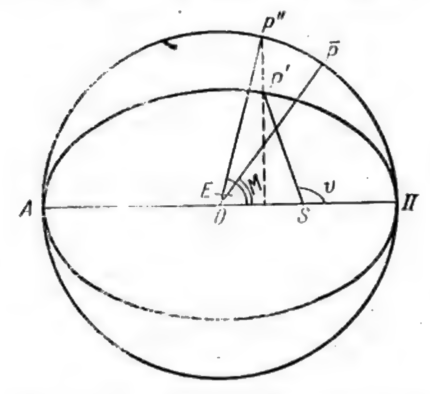


Рис. 28. Истинная, эксцентрическая и средняя аномалии тела при движении по эллиптической орбите

Элементы ☊, i, ω называются *угловыми элементами* и зависят от выбранной системы отсчета (экватора, эклиптики и точки ♈).

Шестой элемент фиксирует положение планеты на ее орбите. Таким элементом выбирают часто *среднюю аномалию* (M), определяемую следующим образом.

Пусть дана эллиптическая орбита тела P, движущегося вокруг Солнца S. Проведем из центра этой орбиты O окружность радиусом, равным большой полуоси эллипса (рис. 28). Пусть в момент t_0 тело находится в перигелии орбиты $П$, а через некоторое время в момент t_1 перешло в точку P'. Угол $P'SП$ (между направлением на перигелий и радиусом-вектором) называется *истинной аномалией* v тела в момент t_1. Проведем через P' пря-

мую, перпендикулярную к оси $A\Pi$ и пересекающуюся в точке P'' с окружностью. Угол $\Pi OP''$ называется *эксцентрической аномалией* E в момент t_1. Представим теперь точку, которая выходит из перигелия одновременно с P и движется по окружности равномерно со скоростью, равной средней скорости движения P по орбите. Средняя угловая скорость P называется *средним движением* и равна

$$n = \frac{360^\circ}{T},$$

где T — период обращения. Если в момент t_1 такая точка займет положение $\bar{P}$, то угол $\Pi O\bar{P}$ будет равен $n(t_1 - t_0)$. Эта величина называется средней аномалией M в момент t_1 (или в эпоху t_1).

Следующие формулы связывают углы E, M и v и позволяют переходить от v к M и наоборот:

$$E - e \sin E = M, \tag{1.82}$$

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}, \tag{1.83}$$

где e — эксцентриситет орбиты. Соотношение (1.82) называется *уравнением Кеплера*.

Вместо ω и M используют в качестве элементов невозмущенной орбиты другие аналогичные величины: *долготу перигелия* $\pi = \Omega + \omega$, *среднюю долготу планеты в орбите* в некоторый момент (эпоху) t, равную $L = \pi + M$; *момент прохождения через перигелий* T, связанный со средней аномалией M формулой $M = n(t - T)$.

в) Формулы невозмущенного движения. Среднее движение n связано с большой полуосью a и массой планеты m формулой

$$n^2 = \frac{k^2 (M_\odot + m)}{a^3}, \tag{1.84}$$

где $M_\odot$ — масса Солнца, k^2 — *постоянная тяготения*, или гравитационная постоянная. Эта постоянная входит как коэффициент пропорциональности в закон тяготения Ньютона, согласно которому силы притяжения между двумя материальными частицами с массами m_1, m_2, находящимися на расстоянии r друг от друга, равна

$$F = k^2 \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Если за единицы расстояния, времени и массы приняты астрономическая единица (а. е.), средние солнечные сутки (d) и масса Солнца соответственно, то (с точностью до $1 \cdot 10^{-9}$) $k = 0{,}01720210$. Это число называют также *гравитационной постоянной Гаусса*.

Таким образом, если a выражено в а. е., m — в долях массы Солнца, $M_\odot = 1$, то при указанном k получим по формуле (1.84) среднее движение n за средние солнечные сутки в радианах. Умножив на число градусов в одном радиане (57°,295 780), получим формулу для n в градусах за средние солнечные сутки:

$$n_0 = 0°{,}98560767 \frac{\sqrt{1+m}}{a\sqrt{a}}. \qquad (1.84^*)$$

Средняя скорость поступательного движения по орбите радиуса a равна

$$V = na = \frac{k\sqrt{M_\odot + m}}{\sqrt{a}} \quad (n \text{ — в радианах}). \qquad (1.85)$$

Полагая $M_\odot = 1$, $m = 0$, $a = 1$, и учитывая, что $1^d = 86\,400$ с и что по современным данным 1 а. е. = 149 597 870 км, получим

$$V = k = 0{,}017\,202\,10 \text{ а. е.} = 29{,}785 \text{ км/с}$$

с точностью до 0,001 км/с. Таким образом, средняя скорость поступательного движения планеты по орбите с большой полуосью a, выраженной в а. е., равна

$$V_0 = 29{,}785 \frac{\sqrt{1+m}}{\sqrt{a}} \text{ км/с}, \qquad (1.86)$$

где масса планеты m выражена в долях массы Солнца.

Линейная скорость в точках орбиты с истинной аномалией v равна

$$V = V_0 \sqrt{\frac{1 + e\cos v + e^2}{1 - e^2}}, \qquad (1.87)$$

где e — эксцентриситет и V_0 — средняя скорость, определяемая согласно (1.85), (1.86). В перигелии ($v = 0$) и афелии ($v = 180°$)

$$V_{\text{пер}} = V_0 \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}, \quad V_{\text{аф}} = V_0 \sqrt{\frac{1-e}{1+e}}. \qquad (1.88)$$

Расстояние (радиус-вектор) r Солнце — планета в точке орбиты с истинной аномалией v

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1 + e\cos v}. \qquad (1.89)$$

В перигелии и афелии $r = a(1-e)$ и $r = a(1+e)$ соответственно.

г) Возмущенное движение — фактическое движение планет, зависящее от всех действующих на них сил. Отклонения фактического движения планеты от невозмущенного называются *возмущениями*. Силы, которые вызывают возмущения, называются *возмущающими*. Главными из них являются силы притяжения данной планеты другими планетами, хотя они и очень

малы по сравнению с основной силой притяжения Солнца. Например, притяжение Земли Юпитером (самой большой планетой) не превышает $^1/_{16\,000}$ доли солнечного притяжения. Остальные возмущающие силы: притяжение планет своими спутниками, астероидами и кометами, дополнительные силы за счет отличия формы планет от точной шарообразной, сопротивление межпланетной среды и др. настолько малы, что до сих пор не учитывались. Исключение составляет Земля. Притяжение Земли Луной, масса которой лишь в 81 раз меньше массы Земли, играет существенную роль. Земля и Луна описывают сложное движение относительно их общего центра масс, находящегося на расстоянии около 4600 км от центра Земли. При точном анализе рассматривают орбитальное движение вокруг Солнца не самой Земли, а центра масс системы Земля — Луна.

Возмущенное движение принято характеризовать с помощью понятия оскулирующей (варьирующей) орбиты.

Если для какого-либо момента времени известны положение и скорость (по величине и направлению) небесного тела в пространстве, то можно определить элементы той невозмущенной орбиты, по которой это тело должно было бы двигаться при отсутствии возмущений. Предположим, что мы определили в некоторый момент положение и скорость планеты и вычислили элементы эллиптической орбиты, соответствующие этим данным. Если бы возмущения отсутствовали, то тело всегда двигалось бы точно по этой орбите. Вследствие возмущений планета отклоняется от данной орбиты, т. е. в последующие моменты времени она не занимает тех положений и не обладает теми скоростями, которые соответствуют движению по этой орбите. Таким образом, если мы через некоторое время снова определим элементы орбиты по наблюденным положению и скорости, то мы не получим те же самые элементы. Правда, если возмущения невелики, то новые элементы орбиты будут мало отличаться от предыдущих. Если через некоторое время снова определить аналогичным путем элементы орбиты, то мы получим опять другие элементы и т. д. Поэтому можно представить себе, что в каждый данный момент планета движется по некоторой эллиптической орбите, но элементы этой орбиты, т. е. размеры, форма и положение в пространстве этого эллипса все время меняются. В таком случае говорят, что планета движется по *оскулирующей* орбите. Такая орбита математически описывается при помощи *оскулирующих* (т. е. изменяющихся) элементов. Изменения элементов называются их возмущениями.

В случае планет имеют место весьма малые возмущения элементов орбит *периодического* характера и более существенные, но очень медленные изменения монотонного типа, т. е. возрастающие пропорционально времени, называемые *вековыми*.

Плоскость орбиты Земли (точнее, центра масс системы Земля — Луна) не остается постоянной. Вследствие притяжения планет

она испытывает медленные вековые возмущения и сравнительно быстрые, но очень малые периодические возмущения. Так как с этой плоскостью связывается эклиптика, играющая важнейшую роль в системах координат, то принято следующее определение:

плоскостью *мгновенной гелиоцентрической эклиптики* в момент (эпоху) t называется плоскость орбиты центра масс системы Земля—Луна, определяемая на этот момент с учетом вековых возмущений.

Эклиптика на геоцентрической небесной сфере определяется как линия пересечения этой сферы с плоскостью, проходящей через центр сферы и параллельной плоскости гелиоцентрической эклиптики.

Таким образом, плоскость эклиптики является подвижной плоскостью. Она поворачивается в настоящее время со скоростью около 47″ в столетие вокруг линии пересечения ее с плоскостью экватора. Периодические колебания плоскости орбиты Земли настолько малы, что видимый с Земли центр Солнца отклоняется от мгновенной эклиптики не более, чем на 1″.

Точка весеннего равноденствия ♈ также перемещается, причем в основном не за счет движения плоскости эклиптики, а вследствие прецессионного и нутационного движений плоскости земного экватора. Положение точки весеннего равноденствия, вычисляемое после исключения нутационных колебаний, называется *средней точкой весеннего равноденствия*.

Основные теории движения больших планет в небесной механике, имеющиеся в настоящее время, приводят непосредственно к формулам, дающим элементы оскулирующих орбит всех планет на любой момент времени, отнесенных к эклиптике и средней точке весеннего равноденствия на тот же момент. Эти формулы характеризуют изменение расположения орбит планет с течением времени по отношению к орбите Земли, которая сама в свою очередь изменяется. Путем учета прецессии и движения плоскости эклиптики возможно построить формулы для средних оскулирующих орбит планет, отнесенных к эклиптике и средней точке весеннего равноденствия одной эпохи. Такие формулы характеризуют, так сказать, абсолютные изменения оскулирующих элементов орбит планет (в том числе и Земли) в неподвижной системе координат.

Приведем формулы для оскулирующих элементов орбит планет, отнесенных к эклиптике и средней точке весеннего равноденствия ♈ стандартной эпохи 1950,0 (см. книгу: Абалакин В. К. Основы эфемеридной астрономии. — М.: Наука, 1979).

Меркурий

$$a = 0{,}387\,098\,6,$$
$$e = 0{,}205\,624 + 0{,}000\,020\,4\,T,$$
$$i = 7^\circ{,}003\,78 - 0'',217\,t,$$
$$\Omega = 47^\circ, 738\,70 - 4'', 521\,t - 0'',32\,T^2,$$
$$\pi = 76^\circ, 678\,49 + 5'', 752\,t - 0'', 05\,T^2,$$
$$L = 34^\circ, 899\,50 + 1494^\circ, 726\,741\,1\,t.$$

Венера

$$a = 0{,}723\,331\,6,$$
$$e = 0{,}006\,797 - 0{,}000\,047\,7\,T + 0{,}000\,000\,1\,T^2,$$
$$i = 3^\circ,\,394\,05 - 0'',\,037\,t - 0'',\,12\,T^2,$$
$$\Omega = 76^\circ,\,229\,40 - 10'',\,016\,t - 0{,}37\,T^2,$$
$$\pi = 130^\circ,\,865\,47 + 0'',\,294\,t - 4{,}65\,T^2,$$
$$L = 82^\circ,\,249\,82 + 585^\circ,\,178\,156\,4\,t + 0{,}005\,T^2.$$

Земля

$$a = 1{,}000\,002\,3,$$
$$e = 0{,}016\,730 - 0{,}000\,041\,9\,T - 0{,}000\,000\,1\,T^2,$$
$$i = 0 + 0'',\,468\,t - 0'',\,05\,T^2,$$
$$\Omega = 174^\circ,\,416\,38 - 8'',\,688\,t + 0'',\,04\,T^2,$$
$$\pi = 102^\circ,\,076\,55 + 11'',\,498\,t + 0'',\,57\,T^2,$$
$$L = 100^\circ,\,005\,32 + 359^\circ,\,993\,728\,8\,t.$$

Марс

$$a = 1{,}523\,688\,2,$$
$$e = 0{,}093\,354 + 0{,}000\,090\,6\,T - 0{,}000\,000\,1\,T^2,$$
$$i = 1^\circ{,}849\,97 - 0''{,}300\,t - 0{,}08\,T^2,$$
$$\Omega = 49^\circ,\,171\,28 - 10'',\,621 - 2'',\,28\,T^2,$$
$$\pi = 335^\circ,\,137\,93 + 15'',\,948\,t - 0'',\,64\,T^2,$$
$$L = 144^\circ,\,552\,21 + 191^\circ,\,403\,076\,5\,t.$$

Юпитер

$$a = 5{,}202\,833\,5,$$
$$e = 0{,}048\,271 + 0{,}000\,047\,8\,T + 0{,}000\,022\,7\,T^2,$$
$$i = 1^\circ,\,308\,10 + 0'',\,002\,t + 0{,}08\,T^2,$$
$$\Omega = 99^\circ,\,781\,04 + 0'',\,066\,t + 1'',\,94\,T^2,$$
$$\pi = 13^\circ,\,295\,51 - 0'',\,029\,0t + 5'',\,83\,T^2,$$
$$L = 316^\circ,\,205\,21 + 30^\circ,\,349\,252\,9\,t.$$

Сатурн

$$a = 9{,}538\,762\,1,$$
$$e = 0{,}056\,045 - 0{,}000\,025\,6\,T - 0{,}000\,016\,2\,T^2,$$
$$i = 2^\circ,\,487\,94 + 0'',\,018\,t + 0'',\,74\,T^2,$$
$$\Omega = 113^\circ,\,488\,16 + 0'',\,062\,t - 11'',\,67\,T^2,$$
$$\pi = 91^\circ,\,531\,76 + 0''{,}943\,t + 43'',\,09\,T^2,$$
$$L = 158^\circ,\,296\,38 + 12^\circ,\,220\,684\,8\,t - 69'',\,49\,T^2.$$

Уран

$$a = 19{,}191\,391\,3,$$
$$e = 0{,}046\,137 - 0{,}000\,048\,1\,T + 0{,}000\,015\,4\,T^2,$$
$$i = 0^\circ,\,773\,59 - 0'',\,036\,t - 0'',\,18\,T^2,$$
$$\Omega = 73^\circ,\,706\,36 + 1'',\,326\,t + 0'',\,82\,T^2,$$
$$\pi = 172^\circ,\,059\,29 - 3'',\,572\,t - 167'',\,13\,T^2,$$
$$L = 99^\circ,\,086\,74 + 4^\circ,\,284\,615\,9\,t + 3'',\,54\,T^2.$$

Нептун

$$a = 30{,}061\,069\,1,$$
$$e = 0{,}009\,714 + 0{,}001\,095\,4\,T + 0{,}000\,362\,0\,T^2,$$
$$i = 1^\circ,\,774\,17 - 0'',\,006\,t + 0'',\,07\,T^2,$$
$$\Omega = 131^\circ,\,239\,39 + 0'',092\,t - 3'',\,80\,T^2,$$
$$\pi = 38^\circ,\,308\,62 - 3'',\,736\,t - 977'',\,18\,T^2,$$
$$L = 194^\circ,\,425\,58 + 2'',\,184\,891\,2\,t - 3{,}06\,T^2.$$

Плутон

$$a = 39{,}529\,402\,4,$$
$$e = 0{,}248\,248 + 0{,}000\,497\,1\,T + 0{,}000\,563\,2\,T^2,$$
$$i = 17^\circ,\,08535 + 0'',\,313\,t + 10'',\,87\,T^2,$$
$$\Omega = 109^\circ,\,635\,98 + 0'',\,021\,t + 11'',\,72\,T^2,$$
$$\pi = 222^\circ,\,913\,90 - 37'',\,692\,t - 1382'',\,95\,T^2,$$
$$L = 165^\circ,\,656\,59 + 1'',\,452\,602\,0 + 33'',\,15\,T^2.$$

В этих формулах t — время в юлианских годах, а T — время в юлианских столетиях (1 юлианский год = 365,25 солнечных суток), отсчитываемые от эпохи 1950,0, т. е. от среднего гринвичского полудня 1 января 1950 г. На каждый момент τ

$$t = \frac{(\text{J. D.})_\tau - 2\,433\,282}{365{,}25}, \tag{1.90}$$

где $(\text{J. D.})_\tau$ — юлианская дата, соответствующая моменту τ и находимая по таблицам 11 в отделе «Таблицы», а $T = \frac{t}{100}$. Данные формулы называют формулами для средних элементов орбит, так как они получены с учетом лишь вековых возмущений. Точные формулы для оскулирующих элементов планетных орбит содержат огромное количество дополнительных членов, соответствующих периодическим возмущениям. Последние в сумме невелики, так что можно вычислять координаты α, δ планет с помощью средних элементов орбит с точностью до нескольких минут дуги.

Существенно, что вековые возмущения больших полуосей орбит планет отсутствуют. Коэффициент при t в выражении для средней долготы в орбите L представляет собой среднее угловое движение n планеты в градусах за юлианский год на момент 1950,0. Для каждой планеты оно получено при помощи теоретического анализа и многолетних наблюдений. Оно включает в себя различные возмущающие эффекты и не соответствует точно невозмущенному среднему движению, находимому по большой полуоси согласно формуле (1.84*). Коэффициенты при t в выражении для узла ☊ и долготы перигелия π представляют собой вековые изменения ☊ и π в секундах дуги за юлианский год соответственно. Вековое изменение π отвечает смещению перигелия орбиты, а вековое изменение ☊ — смещению вдоль постоянной эклиптики эпохи 1950,0 узла орбиты в положительном или отрицательном направлениях. Перигелии орбит Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Сатурна смещаются в положительном направлении (с запада на восток в направлении движения самой планеты), а перигелии орбит Юпитера, Урана, Нептуна, Плутона — в отрицательном направлении (с востока на запад). Узлы орбит Меркурия, Венеры, Земли, Марса смещаются в отрицательном направлении, а узлы орбит Юпитера, Сатурна, Урана, Нептуна, Плутона — в положительном направлении. Однако следует иметь в виду, что данные формулы для средних элементов планетных орбит отражают изменения орбит лишь на протяжении ограниченного промежутка времени, возможно, нескольких сотен лет. На протяжении нескольких десятков или сотен т ы с я ч лет эти формулы непригодны.

Вращательное движение планет. Каждая планета, в том числе и Земля, обладает вращением, происходящим вокруг некоторой воображаемой линии, называемой *осью вращения* планеты. Направление оси вращения в пространстве и период вращения каждой планеты остаются в течение длительного времени практически постоянными.

Периоды вращения планет приведены в табл. 5б (см. отдел «Таблицы»). Характерные особенности вращения отдельных планет следующие.

Наклон экватора к плоскости орбиты для Марса и Сатурна равен 25° 12′ и 26° 8′ соответственно (т. е. почти такой же, как и для Земли), для Юпитера — около 3° (ось вращения почти перпендикулярна к плоскости орбиты), для Урана — около 98° (ось вращения лежит почти в плоскости орбиты).

По наблюдениям Юпитер вращается не как твердое тело; экваториальные зоны вращаются с периодом 9^h50^m, а зоны в более высоких широтах — с периодом 9^h55^m. Такой же особенностью обладает вращение Сатурна.

Вследствие того, что планеты не имеют точной сферической формы и сжаты у полюсов, силы взаимного притяжения между планетами и Солнцем, между планетами и их спутниками влияют на вращательное движение. А именно, притяжение данной пла-

неты ее спутниками и Солнцем приводит к возникновению сил, стремящихся повернуть ось вращения планеты. Вследствие этого возникают явления прецессии и нутации, выражающиеся в изменении направления оси вращения планеты в пространстве и изученные весьма детально для Земли.

Теоретически вращательное движение планет должно влиять на их орбитальное движение. Однако это влияние настолько мало, что практически не наблюдается.



Рис. 29. Положения Земли по отношению к направлению солнечных лучей (указаны стрелками) в различное время года: *I* — 22 июня; *II* — 23 сентября и 21 марта, *III* — 22 декабря.

Смена времен года. Наблюдаемая на Земле регулярная смена времен года есть следствие того, что ось вращения Земли сохраняет в течение каждого года практически постоянное направление в пространстве и вместе с тем наклонена к плоскости орбиты Земли под постоянным углом, равным $90° - \varepsilon \approx 66°,5$ (ε — наклон эклиптики к экватору). Медленное прецессионное движение оси вращения Земли таково, что этот угол остается почти неизменным, так что прецессия на смену времен года не влияет. Орбитальное движение Земли вокруг Солнца также не играет заметную роль, так как в течение всего года расстояние Земли от Солнца изменяется незначительно и вся Земля в целом получает примерно одинаковое количество солнечного тепла. Поток лучистой энергии, падающей на Землю, изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния до Солнца, и если в афелии Земля получает Φ солнечного тепла, то в перигелии она получает $1{,}07\ \Phi$ (в 1,07 раза больше).

Ось вращения Земли меняет в течение года свое положение по отношению к линии между центрами Солнца и Земли, а вместе с тем и к направлению солнечных лучей. Схематическое расположение Земли по отношению к последним в дни равноденствий и солнцестояний указано на рис. 29. Угол α между направлением солнечных лучей и горизонтом в точке поверхности Земли с широтой φ равен в полдень $90° - \varphi + \varepsilon$, $90° - \varphi$, $90° - \varphi - \varepsilon$ в положениях *I*, *II* и *III* соответственно. Отдаваемая энергия лучистого потока пропорциональна синусу этого угла: $\Phi = \Phi_0 \sin \alpha$, где Φ_0 — отдаваемая энергия перпендикулярно падающих лучей. Следовательно, например, для Москвы ($\varphi \approx 55° 45'$) имеем 22 июня $\alpha \approx 58°$, $\Phi \approx 0{,}85\ \Phi_0$; в дни равноденствий — $\alpha \approx 34° 15'$, $\Phi \approx 0{,}56\ \Phi_0$ (в 1,5 раза меньше); 22 декабря — $\alpha \approx 11°$, $\Phi \approx$

$\approx 0,19\ \Phi_0$ (в 4,5 раза меньше). Такие вычисления показывают, что солнечные лучи отдают северным областям Земли с 21 марта по 22 сентября гораздо больше энергии, чем в течение осени и зимы. В южном полушарии Земли имеет место противоположная картина.

Движение спутников планет. Движение спутников вокруг планет напоминает в известной степени движение планет вокруг Солнца. В основном движение спутников данной планеты управляется силой притяжения планеты по закону Ньютона, и поэтому спутники движутся вокруг планет, как и планеты вокруг Солнца, приблизительно по эллиптическим орбитам. Эксцентриситеты этих орбит, как и в случае планетных орбит, невелики; если планета имеет целую систему спутников, (например, Юпитер, Сатурн), то эти спутники движутся в плоскостях, близких друг к другу; за редким исключением спутники движутся в одном направлении.

При рассмотрении эллиптического (невозмущенного) движения спутников определяют, как и в случае планет, элементы орбиты. Общее название ближайшей к центру планеты точки орбиты — *перицентр*, а наиболее удаленной — *апоцентр*. Основной плоскостью при определении угловых элементов орбит спутников является плоскость экватора планеты. Большие полуоси орбит спутников планет выражают обычно в долях радиуса планеты.

Заметные отклонения спутников от эллиптического движения происходят за счет взаимного притяжения спутников (в системах спутников), а также притяжения Солнца, играющего в данном случае роль возмущающего тела. Для некоторых спутников, которые находятся сравнительно близко к своим планетам, причиной заметных возмущений является то обстоятельство, что планеты вследствие отклонения от сферической формы притягивают не точно по закону Ньютона. В случае Сатурна на движение спутников оказывает влияние притяжение кольца, окружающего эту планету и состоящего из множества мелких материальных тел.

Интересны для наблюдений четыре наиболее ярких спутника Юпитера (I — Ио, II — Европа, III — Ганимед, IV — Каллисто), открытые еще Галилеем. Их можно было бы наблюдать простым глазом, если бы не мешал яркий свет планеты. Эти спутники движутся почти по круговым орбитам и почти в плоскости экватора планеты. Наблюдая с Земли, мы видим эти орбиты с ребра, так что спутники располагаются почти на одной линии, являющейся продолжением экваториальной полосы Юпитера. Спутники то прячутся за планетой (*покрытие*), то проходят перед ее диском, то попадают в тень планеты (*затмение*). В «Астрономическом Календаре» указываются моменты начала и конца покрытий и затмений. Эти моменты вычисляются на основании теории движений спутников.

Доступны также наблюдениям в небольшой телескоп спутники Сатурна—Титан и Япет. Удобнее всего их наблюдать, когда они достигают наибольшего удаления от планеты (элонгации) к за-

паду или к востоку и яркий свет планеты не препятствует наблюдениям.

Движение Луны. Луна является спутником Земли, и в отношении нее справедливо все то, что было сказано выше о движении спутников вообще. Однако вопрос о ее движении рассматривается особо, так как Луна — самое близкое к Земле небесное тело, движущееся непосредственно вокруг Земли, и ее движение изучается весьма детально. При этом отклонения Луны от эллиптического движения, т. е. возмущения, велики; они гораздо больше, чем возмущения планет.

Видимое движение Луны изучается еще с древних времен. В целом оно как будто простое. Луна перемещается по небу

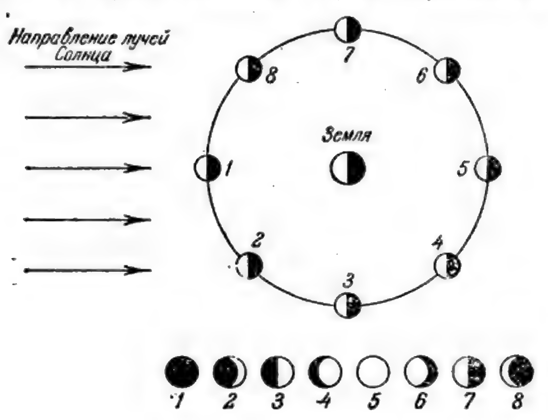


Рис. 30. Фазы Луны

как и Солнце, все время с запада на восток и описывает примерно за один месяц большой круг. За сутки перемещение Луны составляет около 12—13°. Различают сидерический период обращения (или *сидерический* месяц) и *синодический* месяц. Первый равен периоду обращения Луны вокруг Земли, по истечении которого Луна возвращается в то же самое место среди звезд ($27^d,32$). По истечении синодического месяца ($29^d,53$) Луна возвращается в то же самое положение в пространстве относительно Солнца и Земли. Синодический S и сидерический P месяцы связаны между собой по формуле (1.80). Поскольку каждому взаимному расположению Солнца, Луны и Земли соответствует определенная видимая фаза, то фазы Луны повторяются в течение каждого синодического месяца. На рис. 30 показаны различные положения Луны относительно Земли и Солнца и соответственный вид ее диска.

При детальном рассмотрении обнаруживаются весьма сложные особенности движения Луны. Видимый путь Луны с каждым месяцем изменяется, и ее движение по этому пути происходит очень неравномерно. Отклонения от равномерного перемещения обусловлены, во-первых, тем, что Луна движется не по кругу, а в пер-

вом приближениии по эллипсу с эксцентриситетом, равным 0,005, а во-вторых, возмущениями от Солнца и от сжатия Земли. Эти возмущения настолько велики по сравнению, например, с возмущениями планет, что постоянная эллиптическая орбита при описании движения Луны на протяжении хотя бы одного года уже непригодна.

Если прибегнуть к понятию оскулирующей орбиты, то основные возмущения этой орбиты заключаются в том, что ее перицентр (для орбит вокруг Земли применяют термин *перигей*) смещается вдоль орбиты в прямом направлении со скоростью около 40°,7 в год, а ее восходящий узел смещается по эклиптике в обратном направлении со скоростью около 19°,3 в год. Наиболее устойчивый элемент лунной орбиты — ее большая полуось, равная 384 400 км и испытывающая лишь небольшие колебания.

Средний промежуток времени между возвращениями Луны в перигей орбиты называется *аномалистическим месяцем* (27^d,55), а в узел орбиты — *драконическим месяцем* (27^d,21).

Приближенные формулы для оскулирующих элементов следующие:

$$\left.\begin{aligned} a &= a_0(1 + 0{,}0084\cos 2D),\ a_0 = 384\,400\ \text{км},\\ e &= 0{,}0549 + 0{,}0126\cos(2D - l) + 0{,}0077\cos(2D - 2l),\\ i &= i_0 + 0^\circ{,}14\cos(2D - 2F),\\ \pi &= \pi_0 + 40^\circ{,}676t - 13^\circ{,}1\sin(2D - l) - 8^\circ{,}0\sin(2D - 2l),\\ \Omega &= \Omega_0 + 19^\circ{,}355t - 1^\circ{,}6\sin(2D - 2F),\\ L &= L_0 + 4812^\circ{,}665t - 0^\circ{,}66\sin 2D. \end{aligned}\right\} \quad (1.91)$$

Здесь t — время в юлианских годах, угловые элементы i, π, Ω и средняя долгота в орбите L отнесены к фиксированным эклиптике и точке Υ, а i_0 ($\approx 5^\circ$,14), π_0, Ω_0, L_0 — их средние значения (при $t = 0$). Углы D, F, l носят название основных аргументов теории движения Луны (см. о них ниже).

В теории движения Луны выводятся формулы непосредственно для геоцентрических эклиптических долготы λ, широты β и расстояния r Луны от Земли. В упрощенном виде, если ограничиться наибольшими членами, их можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \lambda = L &+ 6^\circ{,}289\sin l^{(1)} - 1^\circ{,}274\sin(l - 2D)^{(2)} +\\ &+ 0^\circ{,}658\sin 2D^{(3)} + 0^\circ{,}214\sin 2l^{(1)} -\\ &- 0^\circ{,}186\sin l'^{(4)} - 0^\circ{,}114\sin 2F -\\ &- 0^\circ{,}059\sin(2l - 2D) - 0^\circ{,}057\sin(l + l' - 2D) +\\ &+ 0^\circ{,}053\sin(l + 2D) - 0^\circ{,}046\sin(l' - 2D) +\\ &+ 0^\circ{,}041\sin(l - l') - 0^\circ{,}035\sin D -\\ &- 0^\circ{,}030\sin(l + l'), \end{aligned} \quad (1.92)$$

$$\beta = 5°,128\sin F + 0°,281\sin(l+F) - 0°,278\sin(F-l) - 0°,173\sin(F-2D) + 0°,055\sin(F+2D-l) - 0°,046\sin(l+F-2D) + 0°,033\sin(F+2D). \quad (1.93)$$

$$\left.\begin{aligned} r &= \frac{384\,404}{Q}\ \text{км}, \\ Q &= 1 + 0{,}0545\cos l + 0{,}0100\cos(l-2D) + 0{,}0082\cos 2D + 0{,}0030\cos 2l + \\ &+ 0{,}0009\cos(l+2D) + 0{,}0006\cos(l'-2D) + 0{,}0004\cos(l+l'-2D) + 0{,}0003\cos(l-l'). \end{aligned}\right\} \quad (1.94)$$

В этих формулах для λ и β отброшены по сравнению с точными (содержащими каждая по нескольку сотен членов) такие члены, которые имеют коэффициенты меньше 100″ (0,028), а в формуле для Q отброшены члены с коэффициентами меньше 0,0003.

Угол L — осредненная (т. е. освобожденная от периодических возмущений) средняя долгота Луны в орбите. Углы l, l', D, F называются основными аргументами в теории движения Луны, причем

l — осредненная средняя аномалия Луны,
l' — » » аномалия Земли +180°,
D — » » разность средних долгот Луны и Солнца,
F — » » средняя долгота Луны, отсчитываемая от восходящего узла орбиты.

Выражения для основных аргументов, выведенные по многолетним наблюдениям в сочетании с теорией, следующие:

$$\left.\begin{aligned} D &= 350°44'14'',95 + 1\,602\,961\,611'',18T - 5'',17T^2, \\ l &= 296°06'16'',59 + 1\,717\,915\,856'',79T + 33'',09T^2, \\ F &= 11°15'03'',20 + 1\,739\,527\,290'',54T - 11'',56T^2, \\ L &= 270°26'02'',99 + 1\,732\,564\,379'',31T - 4'',08T^2, \\ l' &= 358°28'33'',00 + 1\,295\,965\,79'',10T - 0'',54T^2, \end{aligned}\right\} \quad (1.95)$$

где время T измеряется в юлианских столетиях по 36 525 эфемеридных суток (см. гл. I, § 5) от эпохи 1900,0, т. е. от среднего гринвичского полудня 1 января 1900 г.

Формула для L включает в себя влияние прецессии. Поэтому находимые согласно (1.92)—(1.95) координаты λ и β на какой-либо момент t отнесены к эклиптике и средней точке ♈ того же момента. Коэффициент при T в выражении для L, если его исправить путем исключения прецессии, равен среднему движению Луны $n_☾$ на эпоху 1900,0. В градусах за средние солнечные сутки $n_☾ = 13°,176\,358\,5$. Это значение $n_☾$ определяет продолжительность сидерического месяца. Коэффициенты при T в выражениях для

D, l, F определяют, если пренебречь членами, пропорциональными T^2, продолжительность синодического, аномалистического и драконического месяцев соответственно, в течение которых D, l и F изменяются на 360°. Члены, пропорциональные T^2 (имеются также более точные формулы для D, l, F, L, содержащие малые члены, пропорциональные T^3), свидетельствуют о том, что продолжительность указанных месяцев медленно изменяется.

Различные члены в формуле (1.92) для λ характеризуют отклонение Луны от равномерного движения с постоянной угловой скоростью и называются *неравенствами*. Неравенства с наибольшими амплитудами (первые пять) были обнаружены еще древнегреческими астрономами. Неравенства (1) обусловлены только эллиптичностью невозмущеной орбиты. Неравенства (2), (3), (4) обусловлены возмущениями от Солнца и носят названия *эвекции*, *вариации* и *годичного неравенства* соответственно.

С теориями движения планет и Луны более полно можно ознакомиться в книгах: Справочное руководство по небесной механике и астродинамике/Под ред. Г. Н. Дубошина. — М.: Наука, 1971; Абалакин В. К. Основы эфемеридной астрономии. — М.: Наука, 1979; Рябов Ю. А. Движения небесных тел. — М.: Наука, 1977.

Движение астероидов (малых планет). Если нарисовать план Солнечной системы, то большинство астероидов располагается в своем движении между орбитами Марса и Юпитера. Астероидами (по-гречески «звездоподобными») эти небесные тела названы потому, что в телескоп они по своему виду не отличаются от звезд. Название «малые планеты» они получили по той причине, что как по характеру своего движения вокруг Солнца, так и видимого движения по небу они близки к планетам, но по своим размерам они гораздо меньше планет. Самые большие астероиды имеют в диаметре от 200 до 800 км.

Как и в случае планет, движение астероидов вокруг Солнца приближенно представляется невозмущенными эллиптическими орбитами. В настоящее время определены элементы невозмущенных орбит почти для 4000 астероидов. В сборниках «Эфемериды малых планет» Института теоретической астрономии АН СССР (издаваемых ежегодно издательством «Наука») публикуется сейчас список 2200 астероидов, которым присвоены название и номер или только номер, а также приводятся элементы их орбит.

Орбиты многих астероидов, в отличие от планетных орбит, обладают довольно большими эксцентриситетами и наклонениями (до 0,15—0,20 и до 20—30° соответственно). Кроме того, астероиды испытывают гораздо более сильные возмущения, чем планеты. Видимые отклонения на небе от невозмущенных положений на протяжении десяти — двадцати лет измеряются десятками минут и градусами.

Ввиду малой яркости астероидов они наблюдаются обычно только вблизи моментов противостояний с Солнцем. Поэтому надо

уметь вычислять моменты противостояний, что выполняется на основании сведений об орбите того или иного астероида.

Промежуток времени между последовательными противостояниями равен синодическому периоду обращения астероида.

Более подробно можно ознакомиться с вопросом о движении астероидов, а также с другими вопросами, касающимися астероидов, в работе: Демин В. Г. и Журавлев С. Г. Астероиды: Происхождение, статистика и эволюция. — Итоги науки и техники. Сер. «Астрономия», т. 15. — ВИНИТИ, 1979.

Движение комет. В первом приближении рассматривают невозмущенное движение кометы, т. е. такое, которое соответствует решению задачи двух тел: Солнце — комета. При анализе возмущенного движения комет учитывают главным образом возмущающее действие планет.

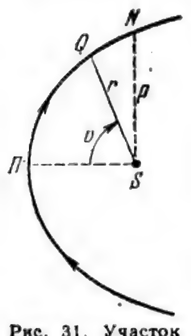


Рис. 31. Участок невозмущенной орбиты любого тела в окрестности Солнца.

Задача двух тел допускает решения, соответствующие движениям по эллипсам, параболам или гиперболам с фокусом в Солнце. Параболы и гиперболы являются, в отличие от эллипсов, незамкнутыми кривыми. Тело, движущееся по параболе или гиперболе, может лишь однажды приблизиться к Солнцу, а затем оно удаляется от него навсегда. На рис. 31 изображен участок любой орбиты вблизи фокуса S (Солнца). Точка $П$ — перигелий орбиты, $ПS$ — перигелийное расстояние q, длина перпендикуляра SN к $ПS$ — параметр орбиты p. Отношение $\frac{p-q}{q}$ равно эксцентриситету орбиты e. Для эллипса $e < 1$, для параболы $e = 1$ $\left(q = \frac{p}{2}\right)$ и для гиперболы $e > 1$. Радиус-вектор r любой точки Q орбиты связан с p, e и углом $ПSQ = v$ (*истинной аномалией*) формулой

$$r = \frac{p}{1 + e\cos v}. \tag{1.96}$$

Если мы сравним три типа орбит, имеющих общий фокус S и одинаковое перигелийное расстояние q, то эллиптическая орбита обладает наименьшим параметром (рис. 32).

При движении по какой-либо орбите скорость движения V в любой точке Q связана с радиусом-вектором r соотношением, известным как *интеграл энергии*,

$$V^2 = \frac{2k^2 M_\odot}{r} + h, \tag{1.97}$$

где k^2 — постоянная тяготения, $M_\odot$ — масса Солнца и h — *постоянная энергии*. Каждая орбита отличается своим значением постоянной энергии. Для всех эллиптических орбит $h < 0$,

параболических — $h = 0$ и гиперболических — $h > 0$. Скорость

$$V_{\text{пар}} = k\sqrt{\frac{2M_\odot}{r}} \qquad (1.98)$$

называется *параболической* на расстоянии r от Солнца, а скорости, бо́льшие или меньшие $V_{\text{пар}}$, называются соответственно *гиперболическими*, или *эллиптическими*. Если считать $M_\odot = 1$ и выразить r в а. е., то

$$V_{\text{пар}} = 29{,}785\sqrt{\frac{2}{r}}\ \text{км/с} =$$

$$= 0{,}017202\sqrt{\frac{2}{r}}\ \text{а. е./сутки.} \qquad (1.99)$$

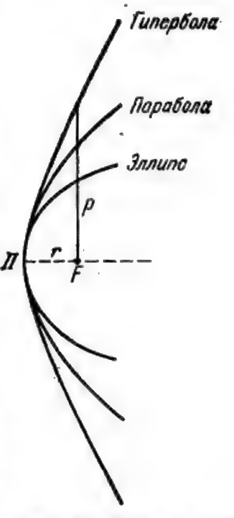


Рис. 32. Эллипс, парабола и гипербола.

Угловые элементы параболической и гиперболической орбит те же, что и для эллиптической: i, ☊, ω или π. Остальные элементы гиперболической орбиты: перигелийное расстояние q, эксцентриситет e, момент прохождения через перигелий τ; параболической орбиты: q и τ (эксцентриситет $e = 1$).

К настоящему времени известно около 600 различных комет. Для большинства из них невозмущенные орбиты — конические сечения с эксцентриситетом между 0,94 и 1,03, т. е. параболы или гиперболы, близкие к параболам, или очень вытянутые эллипсы. Такие кометы называются *параболическими*, *гиперболическими* или *долгопериодическими* соответственно. (Движения по эллиптическим орбитам с e, близким к 1, обладают очень большим периодом. За несколькими исключениями, долгопериодические кометы наблюдались астрономами только по одному разу, когда они проходили вблизи перигелия своей орбиты, т. е. вблизи Солнца. Они появлялись на небе, затем исчезали с удалением от Солнца и пока не возвращались.)

Около 50 комет имеют эллиптические орбиты с умеренным эксцентриситетом. Это — *короткопериодические* кометы. Они наблюдались неоднократно, каждый раз, когда возвращались к перигелию своей орбиты. Самый короткий период, 3,3 года, у кометы Энке, наблюдающейся с 1818 г.

Встречаются кометы с обратным движением вдоль орбиты, т. е. противоположным направлению движения всех планет. Для таких комет наклон орбиты к эклиптике $90 < i < 180°$.

§ 18. Движение искусственных небесных тел

Искусственные небесные тела — это космические аппараты, выведенные в космическое пространство и движение которых по своим орбитам подчиняется главным образом естественным

силам (притяжение со стороны Солнца, Земли и других планет, Луны, сопротивление атмосферы Земли, световое давление Солнца и др.). К искусственным небесным телам относятся *искусственные спутники Земли* (ИСЗ), *искусственные спутники Луны* (ИСЛ), а также других планет, *автоматические межпланетные станции* (АМС), направляемые к Луне или к планетам. Космические аппараты бывают управляемыми с помощью реактивных двигателей на борту. Силы двигателей позволяют существенно изменять в ходе движения орбиту, хотя по величине они значительно меньше, чем совокупность естественных сил.

Запуск искусственных небесных тел производится с помощью автоматически управляемых многоступенчатых ракет. От старта до некоторой расчетной точки в пространстве ракета движется за счет тяги реактивных двигателей. Это — *активный участок движения*. Когда работа двигателей прекращается, запускаемый аппарат автоматически отделяется от ракеты и начинает *пассивное движение* (под действием лишь естественных сил) по некоторой орбите, становясь искусственным небесным телом. Положение и скорость космического аппарата в этот момент выхода на орбиту представляют собой *начальные данные* для определения этой орбиты.

Первые ИСЗ запущены в 1957 г. в СССР, первая АМС — в СССР в январе 1959 г. Пройдя вблизи Луны, она стала первой искусственной малой планетой Солнечной системы. С тех пор до настоящего времени был осуществлен запуск более 2000 искусственных небесных тел (главным образом в СССР и в США). Списки запускаемых в СССР космических аппаратов ежегодно приводятся в Астрономическом Календаре.

Искусственные спутники Земли. В первом приближении движение ИСЗ невозмущенное эллиптическое, соответствующее решению задачи двух тел: Земля — спутник. При этом Земля предполагается однородным шаром, а спутник — материальной точкой с бесконечно малой массой. Справедливы все формулы эллиптического движения (1.82)—(1.89), в которых масса спутника полагается равной нулю, а масса Солнца $M_\odot$ заменяется на массу Земли $m_\oplus$. Обычно при измерении расстояний и времени в задачах о движении ИСЗ используют метрическую систему единиц. При использовании метра и секунды прозведение постоянной тяготения k^2 на $m_\oplus$, называемое *геоцентрической постоянной тяготения*, принимается равным $3{,}986005 \cdot 10^{14}$ м³/с².

Схема эллиптической орбиты ИСЗ изображена на рис. 33. Угловые элементы Ω (долгота восходящего узла), ω (угловое расстояние перигея от узла), i (наклон) отнесены к экватору и точке равноденствия ♈; OK — направление из центра Земли на восходящий узел орбиты, $П$ — перигей орбиты, противоположная точка орбиты — апогей, $\Omega = \angle ♈OK$, $\omega = KOП$.

Эллиптическая орбита ИСЗ целиком определяется начальными (т. е. в момент выхода на орбиту) положением и скоростью. На-

чальная высота h_0 над поверхностью Земли равна обычно 200—300 км, реже 400 км. До такой высоты простирается обычно активный участок движения ракеты-носителя.

Пусть начальное расстояние до центра Земли равно r_0, а начальная скорость V_0 направлена строго горизонтально (перпендикулярно к направлению на центр Земли) и равна

$$V_{кр} = \sqrt{\frac{k^2 m_\oplus}{r_0}} = 7905,36 \sqrt{\frac{R}{r_0}} \text{ м/с}, \qquad (1.100)$$

где R — экваториальный радиус Земли. (В соответствии с новой системой астрономических постоянных, утвержденной съездом

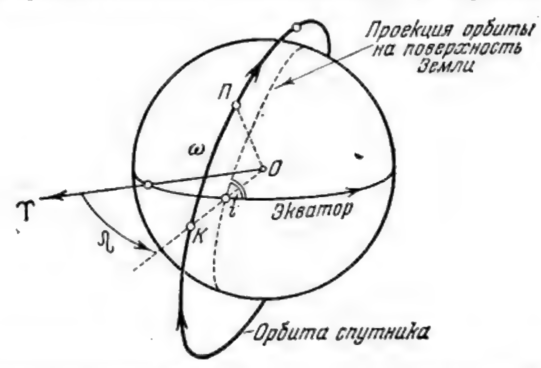


Рис. 33. Эллиптическая орбита ИСЗ в пространстве вокруг Земли. Стрелками указаны направление отсчета углов вдоль экватора и направление движения спутника.

МАС в 1976 г., $R = 6378,140$ км.) Тогда спутник будет двигаться по круговой орбите радиуса r_0 (рис. 34) с постоянной скоростью $V_{кр}$. Данная скорость носит название *круговой* (отсюда обозначение $V_{кр}$) на расстоянии r_0 от центра Земли.

Пусть начальная скорость V_0 превышает круговую, но направлена также горизонтально. Тогда орбита спутника эллиптическая. Перигей совпадает с начальным положением спутника (рис. 35). Большая полуось a, эксцентриситет e и апогейное расстояние r_A связаны с r_0 и V_0 формулами

$$\frac{r_0}{a} = 2 - \left(\frac{V_0}{V_{кр}}\right)^2, \quad e = \left(\frac{V_0}{V_{кр}}\right)^2 - 1, \quad r_A = a(1+e). \quad (1.101)$$

Перигейная (наименьшая) $h_П$ *высота* над поверхностью Земли совпадает с начальной высотой h_0, а *апогейная* (наибольшая) приближенно равна $h_A = r_A - R$, где R — радиус Земли. Период движения зависит только от a и равен

$$P = \frac{2\pi a^{3/2}}{\sqrt{k^2 m_\oplus}} = 84,489 \left(\frac{a}{R}\right)^{3/2} \text{ мин}. \qquad (1.102)$$

Если скорость V_0 меньше круговой, то перигейная высота $h_П$ окажется меньше, чем h_0. При $h_0 \approx 200—400$ км весьма небольшое

уменьшение (на 0,5—1%) V_0 по сравнению с $V_{кр}$ приводит к тому, что спутник попадает в низкие плотные слои атмосферы и «сгорает». Следовательно, необходимое практическое условие успешного запуска $V_0 \geqslant V_{кр}$, а $V_{кр}$ — практически наименьшая начальная

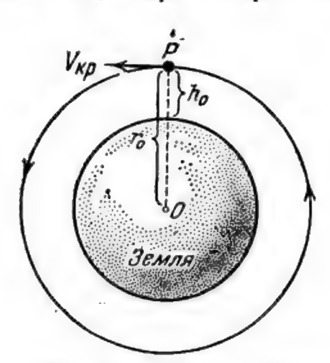


Рис. 34. Круговая орбита ИСЗ.

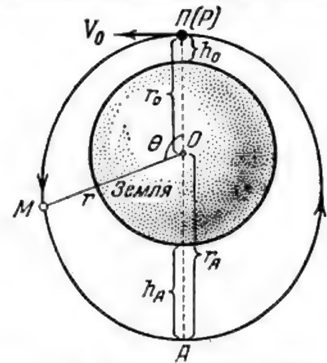


Рис. 35. Эллиптическая орбита ИСЗ при горизонтальной начальной скорости V_0.

скорость, при которой космический аппарат может выйти на орбиту спутника Земли. Поэтому круговую скорость называют также *первой космической**) (обозначают V_I).

Пусть начальная скорость V_0 направлена под углом ψ к горизонту. Тогда орбита спутника — эллиптическая с той же большой полуосью (она не зависит от направления скорости и определяется согласно (1.101)), но эксцентриситет орбиты e больше, а перигей смещен на угол ω по отношению к начальному положению (рис. 36). Формулы для e, ω, перигейного и апогейного расстояний следующие:

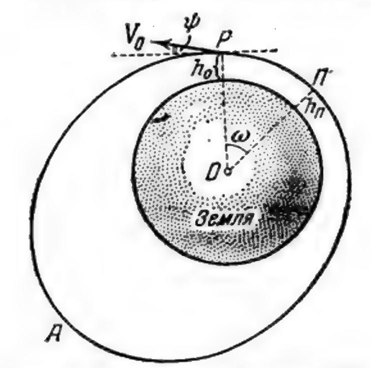


Рис. 36. Эллиптическая орбита ИСЗ в случае отклонения начальной скорости V_0 от горизонтального направления.

$$\left.\begin{aligned} e^2 &= e_0^2 + (1 - e_0^2)\sin^2\psi, \\ \operatorname{tg}\omega &= (1 + e_0)\frac{\operatorname{tg}\psi}{e_0 - \operatorname{tg}^2\psi}, \\ r_П = r_0\frac{1-e}{1-e_0}&, \quad r_A = r_0\frac{1+e}{1-e}, \end{aligned}\right\} \quad (1.103)$$

где e_0 — значение эксцентриситета для случая $\psi = 0$, определяемое согласно (1.101). Перигейная высота $h_П$ меньше, чем начальная высота; приближенно $h_0 - h_П \approx r_0(e - e_0)$.

На высоте 150—160 км спутник тормозится в атмосфере настолько сильно, что он, не успевая сделать одного-двух оборотов

*) Некоторые авторы называют первой космической скоростью круговую скорость $V_{кр}$ у поверхности Земли (при $r_0 \approx R$), равную приближенно 7,91 км/с.

вокруг Земли, снижается, попадает в еще более плотные слои атмосферы и «сгорает». Поэтому условие успешного запуска ИСЗ: $h_П > 150—160$ км. При $h_0 \approx 200—300$ км и $\psi \approx 1°$ имеем $h_0 - h_П \approx 100$ км, поэтому при таком отклонении направления начальной скорости от строго горизонтального запуск окажется неудачным.

Орбита, на которую выводится ИСЗ непосредственно ракетой-носителем, бывает иногда лишь промежуточной. На борту ИСЗ в этих случаях имеются ракетные двигатели, которые по команде с Земли автоматически включаются на короткое время в определенные моменты. ИСЗ получает дополнительный практический мгновенный толчок (импульс) и переходит на другую орбиту.

Например, советские спутники связи типа «Молния» движутся по орбитам с высотами перигея и апогея около 400 и 40 000 км соответственно. Такой ИСЗ сначала выводится на почти круговую орбиту с высотой около 400 км. Затем в некоторый момент ему сообщается импульс в горизонтальном направлении, после чего перигей остается на такой же высоте, а высота апогея увеличивается до требуемых 40 000 км.

Основные типы орбит запускавшихся ИСЗ:

Круговые и *близкие к круговым* (высоты $h_П$ и h_A совпадают или отличаются сравнительно очень мало). Можно выделить близкие спутники ($h_П$ и h_A равны нескольким сотням км), спутники на среднем расстоянии ($h_П$, h_A — нескольким тысячам км) и далекие спутники ($h_П$, $h_A \sim 40\,000$ км и более).

Орбиты с умеренным эксцентриситетом, $e < 0{,}2$ (слабо эллиптические). Разность между $h_П$ и h_A составляет от нескольких сотен до нескольких тысяч км. Например, $h_П \approx 230$ км, $h_A \approx 1000$ км или $h_П \approx 300$ км, $h_A \approx 3000$ км.

Сильно эллиптические орбиты, для которых h_A превышает $h_П$ во много раз. Например, $h_П \approx 400$ км, $h_A \approx 40\,000$ км ($e \approx 0{,}745$) или $h_П \approx 300$ км, $h_A \approx 80\,000$ км ($e = 0{,}856$).

По расположению орбит в пространстве выделяют спутники:

Экваториальные и близкие к ним с малым наклоном i к экватору (до 20—30°); имеющие средний наклон (50—60°), *полярные* и близкие к ним ($80° < i < 95°$).

Орбиты с $i > 90°$ наклонены к экватору под углом $90 - i$, но спутники движутся по ним в обратном направлении, поэтому они называются также спутниками с *обратным движением*.

Спутники, имеющие период обращения P, в целое число раз меньший или больший, чем период вращения Земли $P_0 = 23^h56^m4^s$ (звездные сутки), называются *синхронными*. Они интересны тем, что их видимое с Земли движение ежесуточно повторяется. Частным случаем синхронного является *суточный* спутник с $P = P_0$. Суточный экваториальный спутник, имеющий круговую орбиту, называется *стационарным*. Он расположен в пространстве всегда над одной и той же точкой экватора Земли.

Примеры синхронных ИСЗ с $P = P_0/2$ — советские спутники типа «Молния», стационарного — американский ИСЗ «Эрли Берд».

ИСЗ испытывают отклонения от невозмущенного движения вследствие сопротивления земной атмосферы, сжатия Земли (отличия притяжения Земли от ньютонианского притяжения шара), светового давления солнечных лучей, притяжения Луны и Солнца и др.

Для ИСЗ с высотами перигея до 500—600 км основными источниками возмущений являются первые два фактора.

Спутник, движущийся в земной атмосфере со скоростью V, испытывает торможение, определяемое приближенно формулой

$$\delta W_{\text{торм}} = 1{,}1\rho \frac{S}{m} V^2, \qquad (1.104)$$

где ρ — плотность атмосферы, S — площадь поперечного сечения спутника, m — его масса. Например, для спутника с массой 100 кг при $S = 1$ м^2, движущегося на высоте $h \approx 230$ км ($\rho \approx 10^{-12}$ г/см^3) со скоростью 8 км/с, имеем $\delta W \approx 0{,}019$ см/с^2. При одной и той же массе спутник большего размера тормозится сильнее. Для спутников обычной конструкции, т. е. аппаратов сравнительно небольших, но снабженных большим количеством аппаратуры и, следовательно, тяжелых, сопротивление атмосферы играет заметную роль до высоты 500—600 км. Однако для спутников-баллонов типа «Эхо», имеющих сравнительно очень большие размеры и малую массу, сопротивление атмосферы заметно сказывается и на высоте около 1500 км.

Вследствие торможения ИСЗ постепенно теряет кинетическую энергию, снижается и в конце концов «сгорает» в плотных слоях атмосферы. Такие ИСЗ имеют, следовательно, ограниченный срок жизни. Для ИСЗ, у которых апогейная высота h_A превышает перигейную $h_П$ на несколько сотен и тысяч км, орбита постепенно «сокращается», становится все менее вытянутой; h_A уменьшается гораздо быстрее, чем $h_П$. Приближенные формулы для уменьшения a, e, P, $h_П$ и h_A за один оборот следующие:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\Delta a}{a} = K\left(1 + \frac{1}{8\nu} + 2e - \frac{3}{4}\frac{e}{\nu}\right)\sqrt{\frac{2\pi}{\nu}},\\
&\Delta e = K\left(1 - \frac{3}{8\nu} + e\right)\sqrt{\frac{2\pi}{\nu}}, \quad K = 2{,}2\rho_П \frac{S}{m} a,\\
&\frac{\Delta P}{P} = \frac{3}{2}\frac{\Delta a}{a}, \quad \frac{\Delta h_П}{a} = \frac{\Delta a}{a}(1 - e) - \Delta e,\\
&\frac{\Delta h_A}{a} = \frac{\Delta a}{a}(1 + e) + \Delta e,
\end{aligned}\right\} \qquad (1.105)$$

где $\rho_П$ — плотность атмосферы на высоте $h_П$ перигея, $\nu = \frac{ae}{H}$, H — шкала высот, характеризующая распределение плотности

атмосферы в зависимости от высоты ($H \approx 30—50$ км при $h_п \approx \approx 200—300$ км).

Для спутников на круговой орбите

$$\frac{\Delta a}{a} \approx K \cdot 2\pi. \qquad (1.106)$$

Имеются формулы, позволяющие вычислить продолжительность «жизни» t_L спутника. Например, с момента t_0, когда эксцентриситет и период равны e_0 и P_0,

$$t_L \approx \frac{3}{4} \frac{e_0 P_0}{\Delta P}, \qquad (1.107)$$

где ΔP — суточное уменьшение периода, определяемое в момент t_0.

Фактически наблюдаемое изменение элементов орбиты ИСЗ обычно отличается от теоретического. Это происходит прежде всего по той причине, что атмосфера Земли находится в состоянии непрерывных изменений. Ее плотность на данной высоте все время изменяется вследствие многих факторов. Основные из них — суточный эффект (ночью, т. е. в конусе земной тени, плотность на данной высоте меньше, чем днем) и влияние солнечной активности (потоков заряженных частиц, выбрасываемых Солнцем). Из-за этого спутник тормозится то слабее, то сильнее по сравнению с теорией. Именно наблюдения ИСЗ позволили впервые четко установить факт больших колебаний плотности атмосферы и определить их количественно.

Возмущающее ускорение δW от сжатия Земли значительно больше по величине, чем торможение, в атмосфере. Например, для ИСЗ, движущегося на высоте 230 км, имеем $\delta W \approx 1{,}40$ см/с^2 (в 74 раза больше, чем $\delta W_{торм}$, приведенное выше). Однако изменений формы и размеров орбиты в среднем не происходит. Изменяется лишь положение орбиты в пространстве. Это выражается в постоянном смещении перигея орбиты и восходящего узла. За один оборот

$$\Delta\Omega = -0^\circ{,}58\left(\frac{R}{a}\right)^2 \frac{\cos i}{(1-e^2)^2}, \quad \Delta\omega = 0^\circ{,}29\left(\frac{R}{a}\right)^2 \frac{5\cos^2 i - 1}{(1-e^2)^2}, \qquad (1.108)$$

где R — экваториальный радиус Земли. Положительные значения $\Delta\Omega$, $\Delta\omega$ означают смещения узла и перигея в прямом направлении, отрицательные — в обратном.

Для ИСЗ с высотой перигея от 500—600 до нескольких тысяч км основным возмущающим фактором остается сжатие Земли, действующее аналогичным образом, хотя его влияние уменьшается пропорционально $\left(\frac{R}{a}\right)^2$. Другая существенная причина — давление солнечного света (вместо сопротивления атмосферы). Величина этого давления на спутник (полностью отражающий или

полностью поглощающий свет), находящийся на расстоянии Δ а. е. от Солнца, равна приближенно

$$F = 4{,}65 \cdot 10^{-10} \left(\frac{1}{\Delta}\right)^2 S \text{ Н/см}^2, \qquad (1.109)$$

где S — площадь поперечного (миделева) сечения спутника в см². Возмущающее ускорение спутника равно $\delta W_л = \frac{F}{m}$ см/с², где m — масса (вес) спутника, выраженная в граммах. Например, для шарообразного спутника-баллона «Эхо» (радиус = 15 м, m = 68 кг) имеем $\frac{1}{\Delta} \approx 1$ и $\delta W_л \approx 0{,}005$ см/с². Возмущающее же ускорение от сжатия Земли для «Эхо» ($a \approx 7900$ км) составляет около 0,70 см/с².

Влияние давления солнечных лучей выражается в появлении дополнительных периодических возмущений элементов орбиты ИСЗ. Если же спутник движется так, что регулярно попадает в конус земной тени, то имеют место также и небольшие вековые возмущения элементов.

Для далеких ИСЗ на расстояниях в несколько десятков тыс. км основные возмущения возникают из-за притяжения Луной и Солнцем. Характер возмущений такой же, как и возмущений самой Луны от Солнца (см. § 17, «Движение Луны»).

Автоматические межпланетные станции (АМС). АМС имеют начальную (в момент выхода на орбиту) скорость V_0, не меньшую, чем параболическая скорость относительно Земли:

$$V_{пар} = \sqrt{\frac{2k^2 m_\oplus}{r_0}} = 11{,}180 \sqrt{\frac{R}{r_0}} \text{ км/с} \qquad (1.110)$$

(r_0 — начальное расстояние от центра Земли, R — ее экваториальный радиус). Такая скорость называется также *второй космической**) (обозначается V_{II}). Невозмущенная орбита АМС относительно Земли является параболой (при $V_0 = V_{пар}$) или гиперболой (при $V_0 > V_{пар}$). Двигаясь по отрезку почти параболической или гиперболической орбиты, АМС удаляется от Земли настолько, что на дальнейшее ее движение влияет уже, главным образом, сила притяжения не Земли, а Солнца (если исключить АМС, направляемые к Луне). Говорят, что тогда АМС покидает сферу действия Земли. Радиус этой сферы около 930 тыс. км. Скорость АМС относительно Земли (*геоцентрическая*) внутри этой сферы уменьшается по мере удаления АМС от Земли. На расстоянии r скорость равна в соответствии с интегралом энергии для геоцентрического движения

$$V = \sqrt{\frac{2k^2 m_\oplus}{r} + h}, \qquad (1.111)$$

*) Иногда второй космической скоростью называют параболическую скорость у поверхности Земли, равную примерно 11,2 км/с.

где постоянная h вычисляется по начальным значениям r и V в момент выхода АМС на орбиту.

После выхода АМС из сферы действия Земли рассматривается движение АМС относительно Солнца (*гелиоцентрическое* движение). В первом приближении рассматривается невозмущенная гелиоцентрическая орбита.

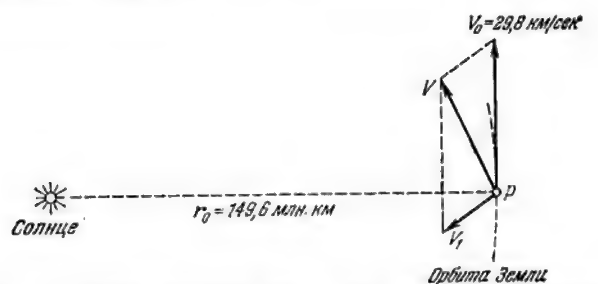


Рис. 37. Схема сложения скоростей при выходе АМС на орбиту вокруг Солнца.

На рисунке 37 P — положение АМС на границе сферы действия Земли (приближенно расстояние до Солнца 149,6 млн. км), V_1 — скорость АМС относительно Земли, а V_0 — скорость Земли на своей орбите. Гелиоцентрическая скорость V станции равна геометрической сумме V_1 и V_0.

Если V меньше параболической скорости (равной 42,3 км/с) относительно Солнца, то невозмущенная орбита АМС — эллиптическая. Далее возможно: 1) АМС не сближается с какой-либо планетой, и тогда ее орбита напоминает орбиты астероидов. Отклонения от эллиптической орбиты (возмущения) обусловлены притяжением Земли и других планет; 2) АМС в своем движении по отрезку почти эллиптической орбиты сближается с одной из планет Солнечной системы. Тогда говорят, что имеет место перелет с Земли на эту планету.

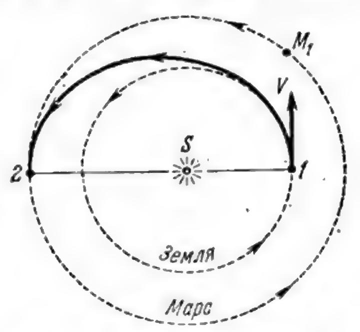


Рис. 38. Траектория перелета на Марс с наименьшей геоцентрической начальной скоростью.

При расчете межпланетных орбит перелета возникает вопрос о выборе наиболее выгодных (*оптимальных*) орбит. Часто рассматривают энергетически оптимальные орбиты (соответствующие наименьшей геоцентрической начальной скорости АМС в момент достижения границы сферы действия Земли), называемые *гомановскими*. На рис. 38 указана такая орбита перелета на Марс. Эта орбита касается орбит Земли и Марса, предполагаемых для простоты круговыми с радиусами $r_{\oplus} = 149,6$ млн. км и $r_{♂} = 227,9$ млн. км соответственно и лежащими в одной плоскости.

На рисунке нанесена жирной линией половина этой орбиты, составляющая саму траекторию перелета. В момент t_0 Земля находится в точке *1*. Положение АМС, находящейся на границе сферы действия Земли, практически совпадает на рис. 38 с точкой *1*. Гелиоцентрическая скорость АМС V направлена так же, как и скорость самой Земли V_0 (она равна 29,78 км/с), по касательной к орбите Земли. Величина ее соответствует гелиоцентрической орбите с афелием в точке *2* орбиты Марса и большой полуосью, равной половине расстояния между точками *1* и *2*. Таким образом, $a = (r_{\oplus} + r_{♂})/2$, и, используя формулу (1.101), мы получим

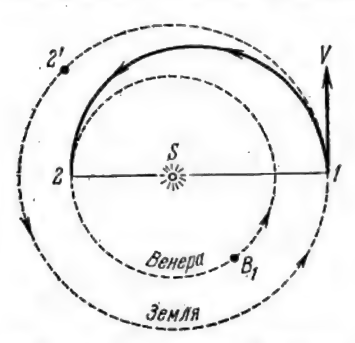


Рис. 39. Траектория перелета на Венеру с наименьшей геоцентрической начальной скоростью.

$$\left(\frac{V}{V_0}\right)^2 = \frac{2}{1 + \frac{r_{\oplus}}{r_{♂}}}. \qquad (1.112)$$

Отсюда $V = 32,72$ км/с. Геоцентрическая скорость АМС при этом равна $V_1 = V - V_0 = 2,94$ км/с. Эксцентриситет этой орбиты равен $e = 0,16$. Далее надо подобрать момент запуска так, чтобы АМС и Марс, двигаясь по своим орбитам, одновременно достигли точки встречи *2*. Это тот момент, когда Марс находится в точке M_1. Дугу своей орбиты от M_1 до *2* Марс проходит за 237^d. Это — время перелета.

Если геоцентрическая скорость в момент выхода АМС на границу сферы действия Земли $V_1 < 2,94$ км/с, то ни при каком направлении V_1 нельзя получить гелиоцентрическую орбиту, достигающую орбиты Марса.

На рисунке 39 приведена аналогичная энергетически оптимальная гомановская траектория перелета с Земли на Венеру. Опять предполагаем для простоты, что орбиты планет — круговые с радиусами $r_{\oplus}$ и $r_{♀} = 108,2$ млн. км. В момент t_0 Земля и Венера находятся в точках *1* и B_1 своих орбит.

Гелиоцентрическая скорость АМС V направлена по касательной к орбите Земли. Величина ее находится из условия, что перигелий гелиоцентрической орбиты АМС находится в точке *2* и что ее большая полуось равна $a = (r_{\oplus} + r_{♀})/2 = 128,9$ млн. км. Мы получим $V = 27,28$ км/с. Геоцентрическая скорость равна $V_1 = V_0 - V = 2,50$ км/с и направлена противоположно скорости Земли. Через $146-147^d$ АМС и Венера одновременно достигнут точки *2*. Земля будет находиться в этот момент в точке *2'*.

Если $V_1 < 2,50$ км/с, то ни при каком направлении V_1 траектория АМС не достигает орбиты Венеры.

Недостаток гомановских траекторий заключается в большой продолжительности перелета. Кроме того, Земля в момент воз-

можной встречи АМС с планетой находится очень далеко от них. Например, в случае перелета на Венеру, расстояние от точки 2 до точки 2' в момент встречи АМС и Венеры составит около 90 млн. км. В то же время наименьшее возможное расстояние между Землей и Венерой равно около 40 млн. км.

На рисунке 40 показана траектория перелета, близкая к траекториям советских АМС «Венера-2», «Венера-3», запущенных в 1965 г. Геоцентрическая скорость АМС на границе сферы действия Земли равна $V_1 \approx 3{,}44$ км/с и направлена примерно под указанным углом к V_0. Продолжительность перелета 105^d, в момент встречи АМС и Венеры расстояние АМС от Земли около 70 млн. км.

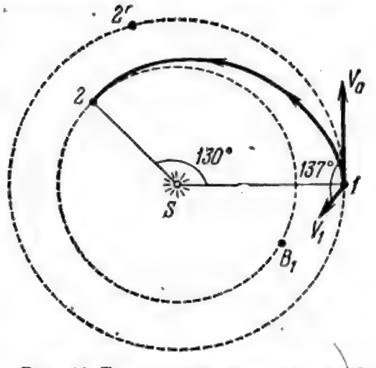


Рис. 40 Траектория перелета АМС на Венеру, близкая к реальной.

Указанные траектории являются, конечно, весьма приближенными. Они дают лишь общее представление о фактических траекториях перелета. При расчете последних учитываются истинные орбиты планет, отклонения движения АМС от невозмущенного эллиптического и т. д.

Обычно АМС выводятся на параболическую или гиперболическую геоцентрическую орбиту не непосредственно, а сначала последняя ступень ракеты-носителя вместе с запускаемой АМС выводится на орбиту спутника Земли. Затем в определенный момент двигатель ракеты включается по команде с Земли и, ракета, достигнув скорости 11 км/с, выводит АМС на расчетную параболическую или гиперболическую орбиту. Говорят, что АМС *стартует с борта тяжелого спутника* или *стартует с околоземной орбиты.* Такой тип запуска обладает рядом преимуществ с точки зрения выбора момента запуска и точности вывода на орбиту.

При межпланетных перелетах существенное значение имеет *коррекция* орбит, поскольку вывести АМС абсолютно точно на расчетную орбиту практически невозможно. Ошибки в положении и в скорости в момент вывода на гелиоцентрическую орбиту неизбежны, что приводит к отклонениям АМС от расчетной орбиты. Например, ошибка в величине скорости на 1 м/с (меньше 0,01 %) при перелете на Венеру по орбитам, приведенным выше, приводит к «промаху» в 50 тыс. км или более. Поэтому на АМС устанавливают двигатели, и коррекция орбиты заключается в том, что эти двигатели по радиокоманде с Земли автоматически включаются на короткое время (порядка нескольких десятков секунд). Станции сообщается практически мгновенный дополнительный импульс скорости δV, что приводит к изменению орбиты. При выполнении коррекции требуется: а) по наблюдениям АМС определить фактиче-

скую орбиту и ее отклонение от расчетной, б) теоретически вычислить, когда и как следует изменить скорость АМС, чтобы перевести АМС на требуемую орбиту.

Траектории полета к Луне и искусственные спутники Луны. В случае полетов к Луне достаточно вывести АМС на очень вытянутую эллиптическую орбиту относительно Земли с апогеем, достигающим орбиты Луны или лежащим за ее пределами. Обычно АМС стартует с околоземной орбиты. Наименьшая возможная стартовая скорость АМС на высоте 200 км над поверхностью Земли 10,9157 км/с. Тогда апогей геоцентрической орбиты находится на

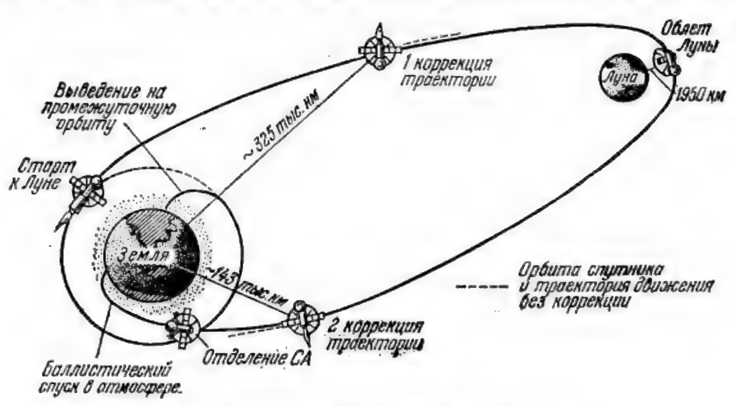


Рис. 41. Схема перелета АМС «Зонд-5».

расстоянии около 384 тыс. км от центра Земли (достигает орбиты Луны). Период движения по такой орбите около 10^d, так что полет до Луны продолжается около 5^d. При стартовой скорости 10,926 км/с (вторая космическая на этой высоте равна 11,009 км/с) апогей находится на расстоянии около 434 тыс. км, и мы получим облетную траекторию, когда АМС огибает Луну и возвращается к Земле. Полет до ближайшей окрестности Луны продолжается тогда $3^d,5$. Примерно такими были траектории движения советских АМС «Зонд-5», «Зонд-6», совершивших облет Луны в 1968 г. (рис. 41).

При таких полетах необходима коррекция первоначальной орбиты.

Пусть, например, расчетная стартовая скорость АМС на высоте 200 км равна $V_0 = 10,9175$ км/с. Тогда апогей расположен примерно в 7500 км за орбитой Луны. Расчетная скорость в апогее около 170 м/с. Ошибка в стартовой скорости на $\pm 0,5$ м/с (0,005%) по величине и $\pm 10'$ по направлению приводит к изменению апогейного расстояния примерно на 2000 км. На расстоянии около 300 тыс. км от Земли проводится коррекция. Скорость АМС тогда около 700 м/с. Дополнительный импульс скорости около 50 м/с по величине. Этот импульс должен «возвратить» апогей ор-

биты в расчетную точку. Корректирующая скорость также может обладать ошибкой. Если эта ошибка не превосходит $\pm 0{,}5$ м/с по величине и $\pm 1^\circ$ по направлению, то отклонение апогея от расчетного расстояния находится в пределах около ± 300 км.

Приблизившись к Луне на расстояние около 66 000 км, АМС входит в сферу действия Луны. Внутри этой сферы рассматривается не геоцентрическое, а *селеноцентрическое* (т. е. относительно Луны) движение. Селеноцентрическая скорость АМС $V_с$ равна геометрической сумме его геоцентрической скорости $V_г$ и орбитальной скорости Луны $V_☾$ ($\approx 1{,}02$ км/с). На границе сферы действия Луны $V_г \approx 0{,}2$ км/с и $V_с$ оказывается не меньшей, чем 0,8 км/с. Параболическая скорость относительно Луны на расстоянии r от центра Луны равна

$$V_{пар} = \sqrt{\frac{2K_☾}{r}} = 2{,}38\sqrt{\frac{R_☾}{r}} \text{ км/с}, \quad (1.113)$$

где $R_☾ = 1738$ км — радиус Луны, $K_☾ = 4{,}903 \cdot 10^{12}$ м^3/с^2 — *геоцентрическая постоянная Луны* (равная произведению постоянной тяготения на массу Луны). При $r = 66\,000$ км имеем $V_{пар} = 0{,}38$ км/с. Следовательно, селеноцентрическая скорость АМС (0,8 км/с) значительно превышает $V_{пар}$ и АМС должна обогнуть Луну, двигаясь относительно нее по гиперболе. Луна своим притяжением изменяет прежнюю геоцентрическую эллиптическую орбиту АМС, как бы «заворачивает» ее к себе и увеличивает ее скорость (рис. 42). В данном примере минимальное расстояние АМС до центра Луны уменьшится с 7500 до 3500 км. Скорость АМС относительно Луны достигнет около 1 км/с (вместо 170 м/с на невозмущенной геоцентрической орбите). Обогнув Луну, АМС удалится от Луны и после достижения расстояния 66 000 км от центра Луны выйдет из сферы ее действия. Мы будем опять рассматривать геоцентрическое движение АМС, но по другой эллиптической орбите по сравнению с орбитой на пути к Луне.

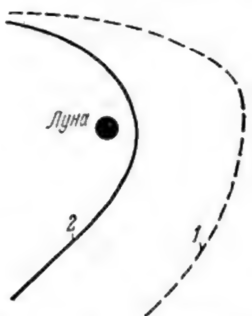


Рис. 42. Траектория АМС вблизи Луны. 1 — геоцентрическая эллиптическая орбита АМС без учета притяжения Луны; 2 — гиперболическая относительно Луны орбита АМС с учетом притяжения Луны.

АМС, движущиеся по облетным траекториям, могут быть переведены с помощью дополнительных импульсов скорости на орбиту спутников Луны. Для этого приблизительно в тот момент, когда АМС, огибая Луну, проходит точку наибольшего сближения с Луной, включается тормозная установка, сообщающая тормозной импульс δV в направлении, противоположном движению (рис. 43). После торможения АМС приобретает эллиптическую скорость относительно Луны и в дальнейшем движется вокруг Луны по эллиптической орбите, став спутником Луны. Эта орбита аналогична орбитам спутников вокруг Земли. Справедливы все формулы, приводимые для геоцентрического движения, если за-

менить геоцентрическую гравитационную постоянную $k^2 m_\oplus$ на $K_☾$. Круговая селеноцентрическая скорость и период обращения определяются, в частности, формулами

$$\left.\begin{aligned} V_{кр} &= \sqrt{\frac{K_☾}{r}} = 1{,}68\sqrt{\frac{R_☾}{r}}\ \text{км/с}, \\ T &= \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{K_☾}} = 108{,}4\left(\frac{r}{R_☾}\right)^{3/2}\text{мин.} \end{aligned}\right\} \qquad (1.114)$$

Например, АМС «Луна-10» (1966 г.), огибая Луну, достигла минимального расстояния около 2740 км от центра Луны и имела в этот момент селеноцентрическую скорость около 2,1 км/с. На таком расстоянии $V_{кр} = 1{,}34$ км/с и $V_{пар} = 1{,}89$ км/с. Тормозной импульс был равен около 0,85 км/с; скорость АМС уменьшилась до 1,25 км/с, и АМС перешла на эллиптическую орбиту вокруг Луны.

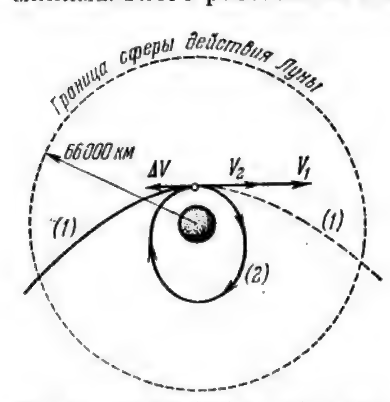


Рис. 43. Переход АМС на орбиту спутника Луны. V_1 — скорость АМС в перицентре гиперболической селеноцентрической орбиты (*1*); ΔV — тормозящий импульс; V_2 — скорость АМС после торможения, после чего она переходит с орбиты *1* на орбиту *2* спутника Луны.

Принцип запуска искусственных спутников других планет аналогичен.

Более подробно о межпланетных орбитах, полетах к Луне и искусственных спутниках Луны можно прочитать в книгах: Эскобал П. Методы астродинамики: пер. с англ. — М.: 1971; Левантовский В. И. Механика космического полета в элементарном изложении. — М.: Наука, 1970; Гребеников Е. А., Демин В. Г. Межпланетные перелеты: — М.: Наука, 1965.

§ 19. Вычисление эфемерид

Эфемеридой небесного тела называется таблица, в которой приведены вычисленные на основании теории, т. е. предсказываемые, положения этого тела на небесной сфере для различных моментов времени. Обычно приводятся геоцентрические координаты α, δ или λ, β. При составлении как можно более точных эфемерид по возможности учитывают возмущения. Приближенные эфемериды составляются на основании известных элементов невозмущенной орбиты данного тела. Мы рассмотрим ниже методику вычислений именно в этом случае.

В настоящее время в связи с задачами анализа движения искусственных небесных тел часто возникает необходимость вычислений не только видимых положений, но также таких характе-

ристик траектории движения, как скорость и компоненты скорости небесного тела на различные моменты. Мы рассмотрим этот вопрос здесь же.

Вычисление эфемериды по элементам эллиптической орбиты. Пусть даны элементы невозмущенной эллиптической орбиты небесного тела вокруг Солнца a, e, i, ω, Ω, а также средняя аномалия M_0 на момент t_0, причем угловые элементы отнесены к некоторой эпохе T_0 (т. е. к эклиптике и точке равноденствия Υ этой эпохи). Требуется вычислить геоцентрические небесные координаты на некоторый момент t, отнесенные к той же эпохе.

1. Вычисляем прямоугольные геоцентрические координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$ (экваториальные или эклиптические) на момент t, отнесенные к эпохе T_0.

Таблицы таких экваториальных координат на начало каждого дня, отнесенных к эпохе 1950,0 или к экватору и средней точке Υ начала соответствующего года, приводятся в Астрономическом Ежегоднике СССР. Там же имеются аналогичные таблицы значений расстояний $\rho_\odot$ от Земли до Солнца, а также эклиптических долготы $\lambda_\odot$ и широты $\beta_\odot$ Солнца. Эклиптические координаты $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$ вычисляются по формулам

$$X_\odot = \rho_\odot \cos\lambda_\odot \cos\beta_\odot, \quad V = \rho_\odot \sin\lambda_\odot \cos\beta_\odot, \quad Z_\odot = \rho_\odot \sin\beta_\odot \qquad (1.115)$$

Если ограничиться точностью 0,00001, то в этих формулах можно положить $\beta_\odot = 0$.

В Астрономическом Календаре приводится только эклиптическая долгота Земли $\lambda_\oplus$, причем на моменты с интервалом в 16 дней и отнесенная к эклиптике и среднему равноденствию начала соответствующего года; точность 0°,05. Путем интерполяции можно найти с такой же точностью значение $\lambda_\oplus$ на любой момент, а затем и $\lambda_\odot = \lambda_\oplus + 180°$. С точностью до 0,01 а. е. имеем $\rho_\odot = 1$ а. е. ($\rho_\odot$ изменяется в течение года от 0,983 до 1,017 а. е.). Более точные значения $\lambda_\odot$, $\rho_\odot$ (в а.е.) можно вычислить самостоятельно по формулам

$$\left.\begin{aligned} \rho &= 1{,}00014 - 0{,}01673\cos l' - 0{,}00014\cos 2l', \\ \lambda &= L' + 1°{,}9171\sin l' + 0°{,}0200\sin 2l' + 0°{,}0003\sin 3l', \end{aligned}\right\} \qquad (1.116)$$

где l' определяется согласно (1.95), $L' = L + 180°$ и L — средняя долгота Земли в орбите, определяемая согласно формулам на с. 65. Мы получим значение $\lambda_\odot$, отнесенное к эклиптике и средней точке Υ данного момента. Введя далее поправку за прецессию, найдем $\lambda_\odot$, а затем по формулам (1.115) при $\beta_\odot = 0$ $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$, отнесенные к эпохе T_0.

2. По формуле (1.84*) вычисляем среднее движение $n°$, а затем среднюю аномалию M на момент t:

$$M = M_0 + n°(t - t_0) \qquad (1.117)$$

(для астероидов, комет полагаем в (1.84*) $m = 0$; для планет учитываем значение m).

3. Решаем уравнение Кеплера:

$$E - e\sin E = M. \qquad (1.118)$$

При этом надо выразить безразмерную величину e в градусах, т. е. заменить ее на $e^\circ = 57^\circ,295\,780\,e$.

Это уравнение можно решать методом последовательных приближений. Первое приближение:

$$E_1 = M + \frac{e^\circ \sin M}{1 - e\cos M}. \qquad (1.119)$$

Второе приближение:

$$E_2 = E_1 - \frac{E_1 - e^\circ \sin E_1 - M}{1 - e\cos E_1} \qquad (1.119^*)$$

и т. д. Два последующие приближения E_k и E_{k-1} должны совпасть в пределах заданной точности.

4. Вычисляем величины ξ, η и радиус-вектор r:

$$\left.\begin{aligned} &\xi = a(\cos E - e), \quad \eta = a\sqrt{1-e^2}\sin E,\\ &r = a(1 - e\cos E). \end{aligned}\right\} \qquad (1.120)$$

Величины ξ, η называются орбитальными прямоугольными координатами. Это — прямоугольные координаты в плоскости орбиты, причем начало координат в Солнце, ось $S\xi$ направлена к перигелию, а ось $S\eta$ повернута на 90° по направлению движения тела. Если найти по формуле (1.83) истинную аномалию v, то

$$\xi = r\cos v, \quad \eta = r\sin v. \qquad (1.121)$$

5. Вычисляем гелиоцентрические прямоугольные эклиптические координаты,

$$x = P_1\xi + Q_1\eta, \quad y = P_2\xi + Q_2\eta, \quad z = P_3\xi + Q_3\eta, \qquad (1.122)$$

где

$$\left.\begin{aligned} &P_s = A_s\cos\omega + B_s\sin\omega, \quad Q_s = B_s\cos\omega - A_s\sin\omega\\ &\qquad (s = 1, 2, 3),\\ &A_1 = \cos\Omega, \quad B_1 = -\sin\Omega\cos i,\\ &A_2 = \sin\Omega, \quad B_2 = \cos\Omega\cos i,\\ &A_3 = 0, \quad B_3 = \sin i. \end{aligned}\right\} \qquad (1.123)$$

Если мы хотим вычислить гелиоцентрические экваториальные координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$, то можно использовать (1.122), заменив P_s, Q_s на $\bar{P}_s$, $\bar{Q}_s$, $s = 1, 2, 3$, причем

$$\bar{P}_1 = P_1, \quad \bar{P}_2 = P_2\cos\varepsilon - P_3\sin\varepsilon, \quad \bar{P}_3 = P_3\cos\varepsilon + P_2\sin\varepsilon, \qquad (1.124)$$

где ε — наклон эклиптики к экватору (формулы для $\overline{Q}$, такие же).

Для контроля вычислений проверяем соотношения

$$P_1^2+P_2^2+P_3^2=Q_1^2+Q_2^2+Q_3^2=1, \quad P_1Q_1+P_2Q_2+P_3Q_3=0. \tag{1.125}$$

Если они не удовлетворяются, то это свидетельствует об ошибке, и вычисления надо провести заново.

По формулам (1.122) мы получим координаты на момент t, отнесенные к системе координат эпохи T_0.

6. Если мы имеем эклиптические координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$, то по формулам (1.79) находим геоцентрические эклиптические координаты X, Y, Z, а затем по формулам (1.76 *) — эклиптические координаты λ, β. Для определения экваториальных координат α, δ можно: а) найти экваториальные координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$, а затем применить формулы (1.77), (1.77*), или б) вычислить согласно (1.78) по имеющимся эллиптическим координатам X, Y, Z экваториальные $\overline{X}$, $\overline{Y}$, $\overline{Z}$ и применить затем формулы (1.77*).

Таким путем мы найдем координаты λ, β или α, δ небесного тела на момент t, отнесенные к эпохе T_0. Если требуется найти координаты, отнесенные к эклиптике и точке ♈ другой эпохи, то следует ввести поправку за прецессию.

Аналогичным образом вычисляются координаты λ, β или α, δ на другие моменты t', t'', ..., что и позволяет получить эфемериду.

7. Для вычисления компонент скорости $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ можно использовать формулы, аналогичные (1.122):

$$\dot{x}=P_1\dot{\xi}+Q_1\dot{\eta}, \quad \dot{y}=P_2\dot{\xi}+Q_2\dot{\eta}, \quad \dot{z}=P_3\dot{\xi}+Q_3\dot{\eta}, \tag{1.126}$$

где $\dot{\xi}$, $\dot{\eta}$ — компоненты скорости по осям $S\xi$, $S\eta$, равные

$$\dot{\xi}=-\frac{na^2}{r}\sin E, \quad \dot{\eta}=\frac{na^2\sqrt{1-e^2}}{r}\cos E \tag{1.127}$$

(n в радианах). Сама скорость равна

$$V=\sqrt{\dot{\xi}^2+\dot{\eta}^2} \text{ или } V=k\sqrt{1+m}\sqrt{\frac{2}{r}-\frac{1}{a}}. \tag{1.128}$$

В случае малых эксцентриситета и наклона орбиты можно заменить вычисления в пп. 3—5 следующими.

Вычисляем гелиоцентрические сферические координаты r, λ', β':

$$\left.\begin{aligned}
\lambda' &= L + \left(2e - \frac{1}{4}e^3\right)\sin M + \frac{5}{4}e^2\sin 2M + \\
&\quad + \frac{13}{12}e^2\sin 3M - \gamma^2\sin(2L - 2\Omega) - \\
&\quad - 2\gamma^2 e\sin(2l - 2\Omega + M) + \\
&\quad + 2\gamma^2 e\sin(2L - 2\Omega - M), \\
\beta' &= 2\gamma\left[(1 - e^2)\sin(L - \Omega) + e\sin(L - \Omega + M) - \right. \\
&\quad - e\sin(\pi - \Omega) + \frac{9}{8}e^2\sin(L - \Omega + 2M) - \\
&\quad \left. - \frac{1}{8}e^2\sin(L - \Omega - 2M) - \frac{1}{6}\gamma^2\sin(3L - 3\Omega)\right], \\
\frac{1}{r} &= \frac{1}{a}\left[1 + \left(e - \frac{1}{8}e^3\right)\cos M + \right. \\
&\quad \left. + \left(e^2\cos 2M + \frac{9}{8}e^3\cos 3M\right)\right],
\end{aligned}\right\} \qquad (1.129)$$

где $\gamma = \sin\frac{i}{2}$, $L = \Omega + \omega + M$ — средняя долгота в орбите. В этих формулах не учтены члены 4-го и более высоких порядков относительно e и γ. Гелиоцентрические прямоугольные эклиптические координаты x, y, z вычисляем далее по формулам (1.76), в которых следует заменить ρ, λ, β на r, λ', β' соответственно.

Пример 1. Даны элементы орбиты астероида 1936 QA = 1403 Idelsonia

$$a = 2{,}718390,\ e = 0{,}290293,\ i = 10°\,8'\,23'',9,$$
$$\Omega = 157°\,13'\,49'',8,\ \omega = 190°\,8'\,18'',1,$$

$M_0 = 350°\,2'\,34'',1$ (на момент $t_0 = 16$ августа 1936 г. 23^h46^m). Угловые элементы отнесены к эклиптике и среднему равноденствию эпохи 1936,0.

Требуется вычислить α и δ на момент $t = 17$ сентября 1936 г. $21^h42^m,7$. Выражая часы и минуты в долях суток, получим прежде всего, что

$$t_0 = \text{августа } 16{,}99028,\ t = \text{сентября } 17{,}90465,$$
$$t - t_0 = 31^d{,}91437.$$

Дальнейшие вычисления проводим в соответствии с пп. 1—7, сохраняя шесть значащих цифр или не менее шести знаков после запятой.

1. Экваториальные координаты Солнца $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$ на момент t, отнесенные к эпохе 1936,0, находим с помощью Астрономического Ежегодника СССР, прибегая к интерполированию. Получим

$$X_\odot = -1{,}000563,\ Y_\odot = 0{,}083767,\ Z_\odot = 0{,}036298.$$

2. Вычисляем среднее движение $n°$ согласно (1.84*) при $m = 0$ и далее M на момент t согласно (1.117). Получим $n = 0°{,}219906$, $M = 357°{,}060970$ (или $M = -2°{,}939030$).

3. Решаем уравнение Кеплера с помощью формул (1.119), (1.119*). После третьего приближения получим $E = -4°{,}139715$.

4. Вычисляем ξ, η, r согласно (1.120):

$$\xi = 1{,}922168, \quad \eta = -0{,}187787, \quad r = 1{,}931319.$$

5. Вычисляем $\overline{P}_s$, $\overline{Q}_s$, $s = 1, 2, 3$ согласно (1.123), (1.124) принимая в соответствии с Астрономическим Ежегодником СССР наклон эклиптики к экватору на эпоху 1936,0 равным $\varepsilon = 23^\circ\,26'\,51'',39$. Получим

$$\overline{P}_1 = 0{,}974734, \quad \overline{P}_2 = -0{,}190611, \quad P_3 = -0{,}116452,$$

$$\overline{Q}_1 = 0{,}212723, \quad \overline{Q}_2 = 0{,}951174, \quad \overline{Q}_3 = 0{,}223645.$$

Контрольные соотношения (1.125) удовлетворяются с точностью до шестого знака после запятой.

Далее находим согласно (1.122) экваториальные гелиоцентрические координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$:

$$\bar{x} = 1{,}833656, \quad \bar{y} = -0{,}545004, \quad \bar{z} = -0{,}265838.$$

6. Вычисляем согласно (1.79) геоцентрические прямоугольные экваториальные координаты X, Y, Z и затем α, δ:

$$X = 0{,}833093, \quad Y = -0{,}461237, \quad Z = -0{,}229540,$$

$$\operatorname{tg}\alpha = -0{,}553644, \quad \alpha = 331^\circ\,1'\,45'',0,$$

$$\operatorname{tg}\delta = -0{,}241050, \quad \delta = -13^\circ\,33'\,9'',4.$$

7. Вычислим скорость V и компоненты скорости $\dot{\xi}$, $\dot{\eta}$ согласно (1.127), (1.128). Получим $n = 0{,}00383808$ (в радианах) и

$$\dot{\xi} = 0{,}00106012, \quad \dot{\eta} = 0{,}0140163, \quad V = 0{,}0140563.$$

Это — скорости в а. е. в сутки. Умножив их на 1731,457, получим скорости в км/с:

$$\dot{\xi} = 1{,}8355, \quad \dot{\eta} = 24{,}2685, \quad V = 24{,}3379.$$

Вычисление эфемериды по элементам гиперболической орбиты. Даны элементы орбиты q (перигелийное расстояние), e, i, ω, Ω, τ (момент прохождения через перигелий).

Отличие при вычислении координат и скоростей на некоторый момент времени от случая эллиптического движения состоит в следующем.

Вместо эксцентрической аномалии E находим на заданный момент t ее аналог H из уравнения, аналогичного уравнению Кеплера:

$$e \operatorname{sh} H - H = \bar{n}\,(t - \tau) \quad (\operatorname{sh} H \text{ — гиперболический синус}), \tag{1.130}$$

где $\bar{n}$ — аналог среднего движения, определяемого также согласно (1.84*). При этом $a = q/(e - 1)$ — действительная полуось гиперболической орбиты. При решении этого уравнения полагаем нулевое приближение равным

$$H_0 = \frac{\bar{n}\,(t - \tau)}{e - 1}. \tag{1.131}$$

Следующее приближение

$$H_1 = H_0 - \frac{e \operatorname{sh} H_0 - H_0 - \bar{n}\,(t - \tau)}{e \operatorname{ch} H_0 - 1} \tag{1.131*}$$

($\operatorname{ch} H_0$ — гиперболический косинус) и т. д.

Орбитальные координаты ξ, η, радиус-вектор r, скорость V и компоненты скорости находятся по формулам

$$\left.\begin{aligned} &\xi = a(e - \operatorname{ch} H) \quad \eta = a\sqrt{e^2 - 1}\operatorname{sh} H, \\ &\dot{\xi} = -\frac{\tilde{n}a^2}{r}\operatorname{sh} H, \quad \dot{\eta} = \frac{\tilde{n}a^2}{r}\sqrt{e^2 - 1}\operatorname{ch} H, \\ &r = a(e\operatorname{ch} H - 1), V = k\sqrt{1 + m}\sqrt{\frac{2}{r} + \frac{1}{a}} = \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}^2}. \end{aligned}\right\} \tag{1.132}$$

Остальные формулы остаются без изменений.

Вычисление эфемериды по элементам параболической орбиты. Даны элементы орбиты q, i, Ω, ω, τ. Вычисление эфемериды отличается от случая эллиптического движения в пп. 2—4 и формулами для компонент скорости (остальные пункты опускаем).

2. Вычисляем величину $\tilde{M}$ (аналог средней аномалии):

$$\tilde{M} = \tilde{n}(t - \tau), \quad \tilde{n} = \frac{k}{\sqrt{2q^3}} \qquad (k = 0{,}01720210). \tag{1.133}$$

3. Находим вспомогательную величину θ из кубического уравнения

$$\frac{1}{3}\theta^3 + \theta - \tilde{M} = 0. \tag{1.134}$$

Полагая нулевое приближение $\theta_0 = \tilde{M}$, определяем следующее приближение по формуле

$$\theta_1 = \theta_0 - \frac{\frac{1}{3}\theta_0^3 + \theta_0 - \tilde{M}}{\theta_0^2 + 1} \text{ и т. д.} \tag{1.134*}$$

4. Орбитальные координаты, а также r, $\dot{\xi}$, $\dot{\eta}$, V, находятся по формулам

$$\left.\begin{aligned} &\xi = q(1 - \theta^2), \quad \eta = 2q\theta, \qquad r = q(1 + \theta^2), \\ &\dot{\xi} = -\frac{2\tilde{n}q^2}{r}\theta, \quad \dot{\eta} = \frac{2\tilde{n}q^2}{r}, \quad V = k\sqrt{\frac{2(1 + m)}{r}} = \sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\eta}^2}. \end{aligned}\right\} \tag{1.135}$$

Пример 2. Даны следующие элементы параболической орбиты кометы 1939 III (периодическая комета Юрлова—Ахмарова—Хасселя):

$$q = 0{,}52830, \ \Omega = 311^\circ\,24'\,46'', \ i = 138^\circ\,6'\,41'',$$

$$\omega = 89^\circ\,15'\,58'', \ \tau = 1939 \text{ апреля } 10{,}1845.$$

Угловые элементы отнесены к эпохе 1939,0.

Требуется определить координаты и скорости на момент t = апреля $22^d{,}81306$.

1. Координаты $X_\odot$, $Y_\odot$, $Z_\odot$ на момент t находим, используя Астрономический Ежегодник СССР:

$$X_\odot = 0{,}85478,\ Y_\odot = 0{,}48567,\ Z_\odot = 0{,}21064.$$

2. Вычисляем в соответствии с (1.133) $\tilde{n} = 0{,}0316771$, $t - \tau = 12{,}62856$, $\tilde{M} = 0{,}400035$.

3. Решая уравнение (1.134), находим $\theta = 0{,}381523$.

4. Вычисляем согласно (1.135) орбитальные координаты ξ, η, r:

$$\xi = 0{,}451401,\ \eta = 0{,}403117,\ r = 0{,}605199.$$

5. Вычисляем согласно (1.123), (1.124) $\overline{P}_1$, $\overline{P}_2$, ..., $\overline{Q}_3$ и экваториальные гелиоцентрические координаты $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$:

$$\overline{P}_1 = -0{,}549788,\ \overline{P}_2 = -0{,}726201,\ \overline{P}_3 = 0{,}412754,$$

$$\overline{Q}_1 = -0{,}668576,\ \overline{Q}_2 = 0{,}678791,\quad \overline{Q}_3 = 0{,}303725,$$

$$\bar{x} = -0{,}517689,\quad \bar{y} = -0{,}054176,\quad \bar{z} = 0{,}308754.$$

6. Вычисляем согласно (1.79) геоцентрические экваториальные координаты:

$$X = 0{,}337091,\ Y = 0{,}431494,\ Z = 0{,}519394,$$

и далее по формулам (1.77) находим

$$\operatorname{tg}\alpha = 1{,}28005,\qquad \alpha = 52^\circ\,0'\,8'',$$

$$\operatorname{tg}\delta = 0{,}948568,\qquad \delta = 43^\circ\,29'\,17''.$$

Замечание. Так как исходные угловые элементы заданы с точностью до 1", а q — с точностью до 0,00001, то можно определить α, δ с точностью до 1", но не точнее. Все вычисления мы провели, сохраняя шесть значащих цифр, т. е. с одной запасной цифрой. Окончательные значения α, δ мы округлили с точностью до 1".

7. Вычисления скорости и ее компонент согласно (1.135) дают:

$$\dot{\xi} = -0{,}011147 \text{ а. е./d} = -19{,}300 \text{ км/с},$$

$$\dot{\eta} = 0{,}029217 \text{ а. е./d} = 50{,}588 \text{ км/с},$$

$$V = 0{,}031271 \text{ а. е./d} = 54{,}144 \text{ км/с}.$$

Пример 3. Пусть элементы, указанные в примере 2, к которым добавлен эксцентриситет $e = 1{,}1254$, являются элементами гиперболической орбиты. Требуется определить координаты и скорости небесного тела на тот же момент, что и в примере 2.

1. Вычисляем $a = q/(e-1) = 4{,}213$ и далее, в соответствии с (1.84) при $M_\odot = 1$, $m = 0$, получим

$$\tilde{n} = 0{,}001989,\ \tilde{n}\,(t - \tau) = 0{,}02512.$$

2. Решаем уравнение (1.130) с помощью формул (1.131), (1.131*). Получим с точностью до 0,0001 $H = 0{,}1900$.

3. По формулам (1.132) находим

$$\xi = 0{,}4520,\ \eta = 0{,}4157,\ r = 0{,}6141,$$

$$\dot{\xi} = -0{,}01099 \text{ а. е./d} = -19{,}03 \text{ км/с},$$

$$\dot{\eta} = 0{,}03022 \text{ а. е./d} = 52{,}32 \text{ км/с},$$

$$V = 0{,}03216 \text{ а. е./d} = 55{,}67 \text{ км/с}.$$

Остальные вычисления такие же, как в примере 2.

Вычисление эфемерид для орбит с эксцентриситетом $e \approx 1$. Формулы (1.120), (1.127), (1.132) при $e \approx 1$ неэффективны (при-

водят к большой потере точности). Поэтому целесообразно использовать следующие приближенные формулы:

$$\left.\begin{aligned}\xi = q(1-\theta^2), \quad \eta = 2q\theta\sqrt{(1-\gamma)(1-\gamma\theta^2)}, \quad r = q(1+e\theta^2),\\ \dot{\xi} = -\frac{2\tilde{n}q^2}{r}\theta\left(1-\frac{1}{2}\gamma\theta^2\right), \quad \dot{\eta} = \frac{2\tilde{n}q^2}{r}\left(1-\frac{1}{2}\gamma\right),\end{aligned}\right\} \tag{1.136}$$

где $\gamma = \frac{1}{2}(1-e)$, q — перигелийное расстояние, а θ находится из уравнения

$$\theta + \theta^3\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{2}\gamma\right) + \frac{1}{10}\gamma\theta^5 = \tilde{n}(t-\tau) \tag{1.137}$$

(τ — момент прохождения через перигелий). Для эллиптической орбиты $e < 1$ и $\gamma > 0$, а для гиперболической $e > 1$ и $\gamma < 0$. Эти формулы отличаются от соответствующих формул (1.135) для параболической орбиты лишь малыми дополнительными членами. В более точных формулах имеются члены, зависящие от γ^2, γ^3, ... и т. д.

§ 20. Определение орбит

Под определением орбит понимается определение элементов невозмущенной орбиты (эллиптической, гиперболической, параболической) по имеющимся наблюдениям или по данным о положении и скорости данного небесного тела.

Определение гелиоцентрической эллиптической орбиты по трем наблюдениям. Обычно эта задача возникает при изучении движений астероидов и периодических комет. Для нахождения элементов невозмущенной эллиптической орбиты вообще достаточно знать два гелиоцентрических положения небесного тела на два момента времени. При наблюдениях с Земли надо иметь для этого три положения на небесной сфере.

Пусть на моменты t_1, t_2, t_3 даны соответствующие экваториальные геоцентрические координаты небесного тела: (α_1, δ_1), (α_2, δ_2) и (α_3, δ_3). Пусть соответствующие прямоугольные геоцентрические (экваториальные) координаты Солнца равны (X_1, Y_1, Z_1), (X_2, Y_2, Z_2), (X_3, Y_3, Z_3).

За единицу времени принимаем средние солнечные сутки, за единицу расстояния — астрономическую единицу.

1. Находим для всех трех моментов величины *):

$$\left.\begin{aligned}p_j = \operatorname{tg}\alpha_j, \quad q_j = \sec\alpha_j \operatorname{tg}\delta_j, \quad l_j = \sec\alpha_j \sec\delta_j,\\ a_j = p_j X_j - Y_j, \quad b_j = q_j X_j - Z_j, \quad j = 1, 2, 3.\end{aligned}\right\} \tag{1.138}$$

*) Если $|\operatorname{tg}\alpha_2| > 1$, то надо положить $p_j = \operatorname{ctg}\alpha_j$; $q_j = \operatorname{cosec}\alpha_j \operatorname{tg}\delta_j$, $l_j = \operatorname{cosec}\alpha_j \sec\delta_j$ $(j = 1, 2, 3)$ и во всех дальнейших формулах букву x заменить буквой y.

Далее находим:

$$\left.\begin{aligned} d_2 &= 2(p_2a_2 + q_2b_2), \quad e_2^2 = a_2^2 + b_2^2, \\ E &= (p_2 - p_3)(q_3 - q_1) - (q_2 - q_3)(p_3 - p_1), \\ F_j &= a_j(q_3 - q_1) - b_j(p_3 - p_1). \end{aligned}\right\} \tag{1.139}$$

Формула для контроля:

$$F_1 + F_2 + F_3 + E = (a_1 + a_2 + a_1 + p_2 - p_3)(q_3 - q_1) - \\ - (b_1 + b_2 + b_3 + q_2 - q_3)(p_3 - q_1). \tag{1.139 *}$$

2. Находим величины:

$$\left.\begin{aligned} & c_1^0 = \frac{t_3 - t_2}{t_3 - t_1}, \qquad c_3^0 = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}, \\ & \tau_1 = k(t_3 - t_2), \quad \tau_2 = k(t_3 - t_1), \quad \tau_3 = k(t_2 - t_1), \\ & \nu_1 = \frac{1}{6}\tau_1\tau_3(1 + c_1^0), \quad \nu_3 = \frac{1}{6}\tau_1\tau_3(1 + c_3^0), \quad \nu_2 = \frac{5}{48}\tau_2^2, \\ & A = \frac{c_1^0F_1 - F_2 + c_3^0F_3}{E}, \quad B = \frac{\nu_1F_1 + \nu_3F_3}{E}, \end{aligned}\right\} \tag{1.140}$$

где $k = 0{,}017\,202\,1$.

3. Решаем систему двух уравнений с двумя неизвестными x_2 и r_2:

$$x_2 = A + \frac{B}{r_2^3}\left(1 + \frac{\nu_2}{r_2^3}\right), \tag{1.141}$$

$$r_2^2 = (x_2l_2^2 + d_2)\,x_2 + e_2^2. \tag{1.142}$$

Применяя так называемый метод последовательных приближений, выбираем произвольно некоторое начальное значение $x_2 = (x_2)_0$**), после чего находим $(r_2)_0$ из (1.142) и из уравнения (1.141) вычисляем значение $x_2 = (x_2)_1$. Если бы начальное значение x_2 было выбрано правильно, т. е. удовлетворяло бы уравнениям, то тогда $(x_2)_0 = (x_2)_1$. В противном случае $(x_2)_0 \neq (x_2)_1$. Тогда с новым значением $(x_2)_1$ вычисляем аналогичным путем следующее приближение $(x_2)_2$. Если $(x_2)_1 \neq (x_2)_2$, то вычисляем $(x_2)_3$ и т. д. до тех пор, пока два последующих приближения не сойдутся в пределах заданной точности.

Замечание. Если вычислено $(x_2)_1 = s_1$ и $(x_2)_2 = s_2$, то третье приближение $(x_2)_3 = s_3$ может быть найдено по формуле

$$s_3 = s_2 - \frac{(s_2 - s_1)^2}{s_2 - 2s_1 + (x_2)_0}. \tag{1.143}$$

*) Если $|\operatorname{tg}\alpha_2| < 1$, то надо положить $p_j = \operatorname{ctg}\alpha_j$; $q_j = \operatorname{cosec}\alpha_j \operatorname{tg}\delta_j$, $l_j = \operatorname{cosec}\alpha_j \sec\delta_j$ $(j = 1, 2, 3)$ и во всех дальнейших формулах букву x заменить буквой y.

**) При этом надо иметь в виду, что x_2 есть гелиоцентрическая прямоугольная координата тела, выраженная в а. е. Значение $(x_2)_0$ следует выбирать, исходя из разумного предположения относительно расстояния тела от Солнца.

Часто полученное таким путем третье приближение значительно ускоряет вычисления или даже дает непосредственно нужный результат.

4. После решения уравнения (1.141) и (1.142) находим:

$$\left.\begin{aligned} &c_1 = c_1^0 + \frac{\nu_1 (x_2 - A)}{B}, \quad c_3 = c_3^0 + \frac{\nu_3 (x_2 - A)}{B},\\ &x_1 = \frac{(q_3 - q_2) x_2 + c_1 b_1 - b_2 + c_3 b_3}{c_1 (q_3 - q_1)}, \quad x_3 = \frac{x_2 - c_1 x_1}{c_3},\\ &y_j = p_j x_j + a_j, \quad z_j = q_j x_j + b_j, \quad j = 1, 2, 3. \end{aligned}\right\} \quad (1.144)$$

Контроль:

$$\left.\begin{aligned} x_2 = c_1 x_1 + c_3 x_3, \quad y_2 = c_1 y_1 + c_3 y_3, \quad z_2 = c_1 z_1 + c_3 z_3,\\ r_2^2 = x_2^2 + y_2^2 + z_2^2. \end{aligned}\right\} \quad (1.145)$$

Координаты (x_j, y_j, z_j), $j = 1, 2, 3$, — прямоугольные гелиоцентрические экваториальные координаты тела в моменты t_1, t_2, t_3 соответственно. Дальнейшее вычисление элементов орбиты может быть проведено по двум гелиоцентрическим положениям. Обычно выбирают два крайних положения: (x_1, y_1, z_1) и (x_3, y_3, z_3).

5. Вычисляем:

$$\left.\begin{aligned} &r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}, \quad r_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2 + z_3^2},\\ &B_x = y_1 z_3 - y_3 z_1, \ B_y = z_1 x_3 - z_3 x_1, \ B_z = x_1 y_3 - x_3 y_1,\\ &B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}, \quad J = x_1 x_3 + y_1 y_3 + z_1 z_3. \end{aligned}\right\} \quad (1.146)$$

Контроль:

$$B^2 + J^2 = r_1^2 + r_3^2.$$

6. Находим элементы Ω, i по формулам

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg} \Omega &= \frac{B_x}{-(B_y \cos\varepsilon + B_z \sin\varepsilon)},\\ \operatorname{tg} i &= \frac{B_x}{(B_z \cos\varepsilon - B_y \sin\varepsilon) \sin\Omega}, \end{aligned}\right\} \quad (1.147)$$

где знаки синуса и косинуса Ω совпадают со знаками числителя и знаменателя.

Наклон орбиты к эклиптике i заключен в пределах между 0° и 180°. Если $\operatorname{tg} i > 0$, то $0 < i < 90°$, и мы имеем орбиту с *прямым движением* тела вдоль нее. Если $\operatorname{tg} i < 0$, то $90° < i < 180°$, и движение тела по орбите *обратное*.

7. Вычисляем величины

$$\left.\begin{aligned} \chi^2 &= 2(r_1 r_3 + J), & l &= \frac{r_1 + r_3}{2\chi} - \frac{1}{2}, \\ m &= \frac{\tau_2^2}{\chi^3}, & b &= \frac{\frac{11}{9} m}{\frac{5}{6} + l} \end{aligned}\right\} \quad (1.148)$$

и величину $\bar{y}$ с помощью непрерывной дроби

$$\bar{y} = 1 + \frac{10}{11} \frac{b}{1 + \frac{b}{1 + \frac{b}{\dots}}} \quad (1.149)$$

После этого определяем параметр орбиты p:

$$p = \left(\frac{\bar{y} B}{\tau_2}\right)^2. \quad (1.150)$$

8. Вычисляем величины

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= p - r_1, & f_3 &= q - r_3, \\ g_1 &= \frac{f_1 J - f_3 r_1^2}{B}, & g_3 &= \frac{f_1 r_3^2 - f_3 J}{B}, \end{aligned}\right\} \quad (1.151)$$

после чего находим эксцентриситет орбиты

$$e = \frac{1}{r_1}\sqrt{f_1^2 + g_1^2} \quad \text{или} \quad e = \frac{1}{r_3}\sqrt{f_3^2 + g_3^2}. \quad (1.152)$$

Оба значения e должны совпадать.

9. Находим большую полуось орбиты:

$$a = \frac{p}{1 - e^2}. \quad (1.153)$$

10. Находим эксцентрические аномалии E_1 и E_3 для моментов t_1 и t_3:

$$\operatorname{tg} E_1 = \frac{g_1}{(a - r_1)\sqrt{1 - e^2}}, \quad \operatorname{tg} E_3 = \frac{g_3}{(a - r_3)\sqrt{1 - e^2}}, \quad (1.154)$$

а также величины

$$e \sin E_1 = \frac{g_1}{b}, \quad e \sin E_3 = \frac{g_3}{b}, \quad (1.155)$$

где b — малая полуось орбиты ($b = a\sqrt{1 - e^2}$).

После этого находим соответствующие значения средней аномалии:

$$M_1 = E_1 - e^0 \sin E_1, \quad M_3 = E_3 - e^0 \sin E_3. \quad (1.156)$$

Далее находим среднее угловое движение n по двум формулам:

$$n = \frac{M_3 - M_1}{t_3 - t_1} \quad \text{и} \quad n = \frac{0^\circ{,}985\,607\,7}{a\sqrt{a}}. \tag{1.157}$$

Совпадение обоих значений служит контролем предшествующих вычислений. Эти значения могут несколько отличаться друг от друга вследствие потери верных значащих цифр в ходе всех предшествующих вычислений. Тогда среднее арифметическое из обоих значений может быть принято в качестве окончательного.

11. Вычисляем величины:

$$\left. \begin{aligned} C = \frac{f_1}{r_1^2 e}, \quad S = \frac{g_1}{r_1^2 e}, \quad K_x = \frac{B_y}{B} z_1 - \frac{B_z}{B} y_1, \\ K_y = \frac{B_z}{B} x_1 - \frac{B_x}{B} z_1, \quad K_z = \frac{B_x}{B} y_1 - \frac{B_y}{B} x_1, \end{aligned} \right\} \tag{1.158}$$

$$\left. \begin{aligned} P_x = Cx_1 - SK_x, \quad Q_x = Sx_1 + CK_x, \\ P_y = Cy_1 - SK_y, \quad Q_y = Sy_1 + CK_y, \\ P_z = Cz_1 - SK_z, \quad Q_z = Sz_1 + CK_z. \end{aligned} \right\} \tag{1.159}$$

Контроль:

$$P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 = 1, \quad Q_x^2 + Q_y^2 + Q_z^2 = 1, \quad P_x Q_x + P_y Q_y + P_z Q_z = 0. \tag{1.160}$$

Находим затем ω по формулам

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{P_z \cos \varepsilon - P_y \sin \varepsilon}{Q_z \cos \varepsilon - Q_y \sin \varepsilon} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \omega = \frac{P_y \sec \varepsilon - P_x \operatorname{tg} \Omega}{Q_y \sec \varepsilon - Q_x \operatorname{tg} \Omega}, \tag{1.161}$$

где знаки числителей и знаменателей совпадают со знаками $\sin \omega$ и $\cos \omega$. Как и в случае формул (1.157), значения $\operatorname{tg} \omega$, находимые по обеим формулам, могут отличаться друг от друга вследствие потери верных значащих цифр. Среднее арифметическое из этих значений можно принять в качестве окончательного.

Определение элементов орбиты на этом заканчивается. Для контроля необходимо вычислить с помощью этих элементов координаты α и δ на средний момент t_2 по формулам для вычисления эфемерид. Точного совпадения вычисленных $\alpha_в$, $\delta_в$ и наблюденных координат $\alpha_н$, $\delta_н$ мы не получим, даже если все предшествующие вычисления были безошибочными, прежде всего по той причине, что приведенные формулы дают возможность вычислить элементы орбиты лишь приближенно (как говорят, в первом приближении). Но все же разности $\alpha_н - \alpha_в$, $\delta_н - \delta_в$ должны быть малыми. Иначе нельзя считать, что полученные элементы орбиты достаточно точно соответствуют движению наблюдаемого небесного тела.

Заметим, что указанные формулы приводят к хорошему результату, если эксцентриситет орбиты невелик, если три наблю-

денные положения небесного тела не очень близки друг к другу и они не расположены близко к эклиптике и, кроме того, если фактическое движение небесного тела не очень сильно отличается от невозмущенного эллиптического.

Пример. При наблюдениях астероида 1936 QA = 1403 Idelsonia получены его координаты α, δ на три момента времени (отнесенные к эпохе 1936,0):

	α	δ
t_1 (16 августа 1936 г. $23^h46^m,0$)	334° 41′ 21″,3	— 7° 9′ 59″,3,
t_2 (17 сентября 1936 г. $21^h42^m,7$)	331° 1′ 44″,7	— 13° 33′ 8″,0,
t_3 (19 октября 1936 г. $19^h7^m,8$)	333° 8′ 40″,4	— 16° 24′ 58″,2.

Приступая к определению элементов орбиты астероида, выразим часы и минуты для указанных моментов в долях суток и составим разности между этими моментами. Получим

t_1 = августа 16,990 28, t_2 = сентября 17,904 65, t_3 = октября 19,797 08,

$$t_2 - t_1 = 31{,}914\,37,\quad t_3 - t_1 = 63{,}806\,80,\quad t_3 - t_2 = 31{,}892\,43.$$

Найдем далее, используя Астрономический Ежегодник СССР, экваториальные прямоугольные геоцентрические координаты Солнца на указанные моменты (отнесенные к той же эпохе 1936,0, что и координаты α, δ астероида):

	t_1	t_2	t_3
X	— 0,817 750,	— 1,000 563,	— 0,893 272,
Y	— 0,547 550,	0,083 767,	— 0,403 373,
Z	— 0,237 453,	0,036 298,	— 0,174 985.

Дальнейшие вычисления соответствуют формулам, указанным в пп. 1—11.

1. Вычисляем по формулам (1.138), (1.139):

$p_1 = -0{,}472\,927$, $p_2 = -0{,}553\,645$, $p_3 = -0{,}506\,352$,

$q_1 = -0{,}139\,090$, $q_2 = -0{,}275\,520$, $q_3 = -0{,}330\,239$,

$l_1 = 1{,}114\,902$, $l_2 = 1{,}175\,770$, $l_3 = 1{,}168\,525$,

$a_1 = -0{,}160\,814$, $a_2 = 0{,}470\,190$, $a_3 = 0{,}855\,683$,

$b_1 = -0{,}123\,712$, $b_2 = 0{,}239\,377$, $b_3 = 0{,}469\,978$,

$d_2 = -0{,}652\,543$, $e_2^2 = 0{,}278\,380$,

$F_1 = 0{,}026\,604\,4$, $F_2 = -0{,}081\,875\,2$, $F_3 = -0{,}147\,853\,9$,

$E = 0{,}010\,869\,0$.

Контроль:

$$F_1 + F_2 + F_3 + E = -0{,}192\,255\,7,$$

$$(a_1 + a_2 + a_3 + p_2 - p_3)(q_3 - q_1) - \\ - (b_1 + b_2 + b_3 + q_2 - q_3)(p_3 - p_1) = -0{,}192\,255\,8.$$

2. Вычисляем по формулам (1.140):

$c_1^\circ = 0{,}499\,828$, $c_3^\circ = 0{,}500\,172$,

$\tau_1 = 0{,}548\,617$, $\tau_2 = 1{,}097\,611$, $\tau_3 = 0{,}548\,994$,

$\nu_1 = 0{,}075\,288\,2$, $\nu_2 = 0{,}125\,495$, $\nu_3 = 0{,}075\,305\,5$,

$A = 1{,}952\,38$, $B = -0{,}840\,115$.

3. Составляем уравнения (1.141), (1.142):

$$x_2 = 1{,}952\,38 - \frac{0{,}840\,115}{r_2^3}\left(1 + \frac{0{,}125\,495}{r_2^3}\right),$$

$$r_2^2 = (1{,}382\,435 x_2 - 0{,}652\,543)\,x_2 + 0{,}278\,380.$$

Начальное значение x_2 возьмем равным $(x_2)_0 = 1{,}6$. Далее вычисляем:

$$(r_2)_0 = 1{,}665\,33, \quad (x_2)_1 = 1{,}765\,537,$$

$$(r_2)_1 = 1{,}853\,513, \quad (x_2)_2 = 1{,}817\,847 \text{ и т. д.}$$

Окончательно получим с точностью 0,000001

$$x_2 = 1{,}833\,747, \quad r_2 = 1{,}931\,423 \quad (r_2^2 = 3{,}730\,394).$$

4. Находим величины c_1, c_3, ..., z_3 по формулам (1.144):

$$c_1 = 0{,}510\,459, \quad c_3 = 0{,}510\,806$$

$$x_1 = 1{,}668\,483 \quad y_1 = -0{,}949\,885, \quad z_1 = -0{,}355\,781,$$

$$x_3 = 1{,}922\,559, \quad y_2 = -0{,}545\,055, \quad z_2 = -0{,}265\,857,$$

$$y_3 = -0{,}117\,809, \quad z_3 = -0{,}164\,926.$$

Контроль:

$$c_1x_1 + c_3x_3 = 1{,}833\,747,$$

$$c_1y_1 + c_3y_3 = -0{,}545\,055, \quad x_2^2 + y_2^2 + z_2^2 = 3{,}730\,393,$$

$$c_1z_1 + c_3z_3 = -0{,}265\,857.$$

5. Вычисляем по формулам (1.146):

$$r_1 = 1{,}952\,613, \quad r_3 = 1{,}933\,213,$$

$$B_x = 0{,}114\,747, \quad B_y = -0{,}408\,834, \quad B_z = 1{,}629\,648,$$

$$B = 1{,}684\,062, \quad J = 3{,}378\,340.$$

Контроль:

$$B^2 + J^2 = 14{,}249\,243, \quad r_1^2 r_3^2 = 14{,}249\,242.$$

6. Находим элементы Ω, i согласно (1.147), принимая $\varepsilon = 23°\,26'\,51'',39$:

$$\operatorname{tg}\Omega = \frac{0{,}114\,747}{-0{,}273\,380} = -0{,}419\,735, \quad \Omega = 157°\,13'\,49'',8,$$

$$\operatorname{tg} i = 0{,}178\,847, \quad i = 10°\,8'\,23'',9.$$

7. Вычисляем величины χ^2, l, ... по формулам (1.148):

$$\chi = 14{,}306\,314, \quad l = 0{,}013\,676\,2,$$

$$m = 0{,}022\,264\,1, \quad b = 0{,}032\,126\,8.$$

Определяем далее величину $\bar{y}$ и параметр орбиты p по формулам (1.149), (1.150) с точностью до 0,000001:

$$\bar{y} = 1{,}028\,324, \quad p = 2{,}489\,311.$$

8. Находим эксцентриситет орбиты по формулам (1.151), (1.152):

$$f_1 = 0{,}536\,698, \quad f_3 = 0{,}556\,098, \quad g_1 = -0{,}182\,348, \quad g_3 = 0{,}075\,484\,2,$$

$$e = \frac{1}{r_1}\sqrt{f_1^2 + g_1^2} = 0{,}290\,293, \quad e = \frac{1}{r_3}\sqrt{f_3^2 + g_3^2} = 0{,}290\,293.$$

9. В соответствии с (1.153) находим большую полуось орбиты

$$a = 2{,}718\,390.$$

10. Находим E_1, ..., M_3 согласно (1.154)—(1.156):

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} E_1 &= -0{,}248\,837, & E_1 &= -13^\circ 58' 24'',6, \\ \operatorname{tg} E_3 &= 0{,}100\,463, & E_3 &= 5^\circ 44' 12'',7, \\ M_1 &= -9{,}957\,191, & M_3 &= 4^\circ{,}074\,277. \end{aligned}$$

Контроль:

$$n_M = \frac{M_3 - M_1}{t_3 - t_1} = 0^\circ{,}219\,906, \quad n_a = \frac{0^\circ{,}985\,607\,7}{a\sqrt{a}} = 0^\circ{,}219\,906.$$

11. Находим ω согласно (1.158), (1.159):

$$C = 0{,}484\,910, \quad S = -0{,}164\,753,$$

$$\begin{aligned} K_x &= 1{,}005\,565, & K_y &= 1{,}638\,814, & K_z &= 0{,}340\,330, \\ P_x &= 0{,}974\,734, & P_y &= -0{,}190\,609, & P_z &= -0{,}116\,451, \\ Q_x &= 0{,}212\,721, & Q_y &= 0{,}951\,174, & Q_z &= 0{,}223\,645. \end{aligned}$$

Контроль:

$$P_x^2 + P_y^2 + P_z^2 = 0{,}999\,999\,0, \quad Q_x^2 + Q_y^2 + Q_z^2 = 0{,}999\,999\,3,$$

$$P_xQ_x + P_yQ_y + P_zQ_z = -0{,}000\,005,$$

$$(\operatorname{tg}\omega)_1 = 0{,}178\,816, \quad (\operatorname{tg}\omega)_2 = 0{,}178\,820.$$

Примем среднее $\operatorname{tg}\omega = 0{,}178818$, $\omega = 190^\circ 8' 18'',1$.

Таким образом нами получены следующие элементы орбиты:

$$\begin{aligned} &a = 2{,}718\,390, \quad e = 0{,}290\,293, \quad i = 10^\circ 8' 23'',9, \\ &\Omega = 157^\circ 13' 49'',8, \quad \omega = 190^\circ 8' 18'',1, \\ &M = -9^\circ{,}957\,191 = -9^\circ 57' 25'',9 \quad \text{или} \quad M = 350^\circ 2' 34'',1, \end{aligned}$$

причем угловые элементы Ω, ω, i отнесены к эпохе 1936,0, а средняя аномалия M дана на момент t = августа 16,99028 1936 г.

Для проверки вычисляем далее с помощью этих элементов координаты астероида α, и δ на средний момент t_2. Такие вычисления были проведены выше в § 19, с. 94—95. Мы получили

$$\alpha = 331^\circ 1' 45'',0 \quad \text{и} \quad \delta = -13^\circ 33' 9'',4.$$

Расхождения с наблюденными α, δ на момент t_2 очень малы.

Определение гелиоцентрической гиперболической орбиты по трем наблюдениям. Все вычисления в пп. 1—8, 11 остаются без изменений. Тот факт, что орбита является гиперболической, обнаруживается в п. 8. Мы получим $e > 1$. После этого вычисляются действительная полуось a и перигелийное расстояние q:

$$a = \frac{p}{e^2 - 1}, \quad q = \frac{p}{1 + e}. \tag{1.162}$$

Далее вычисляем момент прохождения через перигелий τ:

$$\operatorname{ch} H_j = \frac{r_j + a}{ae}, \quad \operatorname{sh} H_j = \frac{g_j}{ae\sqrt{e^2-1}}, \quad j = 1,\ 3, \tag{1.163}$$

$$\tau = t_1 + (H_1 - e \operatorname{sh} H_1)\frac{a^{3/2}}{k} \quad \text{или} \quad \tau = t_3 + (H_3 - e \operatorname{sh} H_3)\frac{a^{3/2}}{k}. \tag{1.164}$$

Оба значения τ должны совпадать.

Случай орбит с эксцентриситетом $e \approx 1$. При $e \approx 1$ большая полуось эллиптической орбиты a и средние аномалии M_1, M_3 вычисляются неточно (см. (1.153—1.154)). Поэтому целесообразно характеризовать такую орбиту перигелийным расстоянием q и моментом прохождения через перигелий τ. Они вычисляются по формулам

$$q = \frac{p}{1+e}, \quad \xi_j = \frac{f_j}{e}, \quad \eta_j = \frac{g_j}{e}, \quad \gamma = \frac{1-e}{2}, \tag{1.165}$$

$$\sigma_j = \frac{\eta_j}{2q}\sqrt{\frac{2}{1+e}}\,\frac{1}{1-\gamma\left(1-\frac{\xi_j}{q}\right)}, \quad j = 1,\ 3, \tag{1.166}$$

$$\tau = t_j - \frac{\sqrt{2q^3}}{k}\left[\sigma_j + \sigma_j^3\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\gamma\right) + \frac{1}{10}\gamma\sigma_j^5\right]. \tag{1.167}$$

Значения τ, находимые при $j = 1$ и $j = 3$, должны совпадать.

Эти же формулы целесообразны при вычислении τ для гиперболических орбит при $e \approx 1$. При этом $\gamma < 0$.

Эфемерида в случае таких орбит вычисляется с помощью формул (1.136), (1.137), в которые a не входит.

Определение параболической орбиты. Пусть даны на моменты t_1, t_2, t_3 экваториальные координаты (α_j, δ_j), $j = 1, 2, 3$, и пусть соответствующие прямоугольные координаты Солнца равны X_j, Y_j, Z_j.

1. Для всех трех моментов вычисляем величины

$$\left.\begin{array}{l} l_j = \cos\delta_j\cos\alpha_j, \quad m_j = \cos\delta_j\sin\alpha_j, \quad n_j = \sin\delta_j \quad (j = 1,\ 2,\ 3), \\ A = m_2Z_2 - n_2Y_2, \quad B = n_2X_2 - m_2Z_2, \quad C = l_2Y_2 - m_2X_2. \end{array}\right\} \tag{1.168}$$

Контроль: $l_2A + m_2B + n_2C = X_2A + Y_2B + Z_2C = 0.$)

$$\left.\begin{array}{l} q_1 = l_1A + m_1B + n_1C, \quad q_3 = l_3A + m_3B + n_3C, \\ J_2 = l_1l_3 + m_1m_3 + n_1n_3, \\ g^2 = (X_3 - X_1)^2 + (Y_3 - Y_1)^2 + (Z_3 - Z_1)^2, \\ L_j = l_j(X_3 - X_1) + m_j(Y_3 - Y_1) + n_j(Z_3 - Z_1), \\ C_j = -(l_jX_1 + m_jY_1 + n_jZ_1), \quad j = 1,\ 3, \\ S_j^2 = X_j^2 + Y_j^2 + Z_j^2 - C_j^2. \end{array}\right\} \tag{1.169}$$

2. Затем вычисляем величины

$$\left.\begin{aligned} M &= -\frac{t_3 - t_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{q_1}{q_3}, \quad \tau_2 = k(t_3 - t_1), \quad k = 0{,}017\,2021, \\ h^2 &= 1 + M^2 - 2MJ_2, \quad l = \frac{1}{h}(ML_3 - L_1), \quad p^2 = g^2 - l^2, \\ K_j &= \frac{M_j}{h} l + C_j, \qquad M_1 = 1, \quad M_3 = M, \end{aligned}\right\} \tag{1.170}$$

после чего составляем систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} \sigma &= (r_1 + r_3)\,\eta\left(1 + \frac{1}{24}\eta^2 + \frac{5}{384}\eta^4\right), \quad u = \sqrt{\sigma^2 - p^2}, \\ r_j &= \sqrt{\left(\frac{M_j}{h} u + K_j\right)^2 + S_j^2}, \quad \eta = \frac{2\tau_2}{(r_1 + r_3)^{1/2}} \quad (j = 1,\ 3), \end{aligned}\right\} \tag{1.171}$$

где неизвестными являются r_1, r_3, σ, u, η. Эти уравнения решаются методом последовательных приближений. В качестве начального значения $r_1 + r_3$ принимаем $r_1 + r_3 = s_0 = 2$. С этим значением s_0 вычисляем по формулам (1.171) $\eta = \eta_0$, затем $\sigma = \sigma_0$, $u = u_0$, $(r_1)_0$, $(r_3)_0$ и получаем $(r_1)_0 + (r_3)_0 = s_1$.

Если s_1 совпадает с s_0, то найденные η_0, σ_0, u_0, $(r_1)_0$, $(r_3)_0$ дают решение уравнений. Если совпадения нет, то со значением s_1 снова вычисляем $\eta = \eta_1$, $\sigma = \sigma_1$, $u = u_1$, $(r_1)_1$, $(r_3)_1$, $(r_1)_1 + (r_3)_1 = s_2$, до тех пор, пока два последовательных значения s_{k-1}, s_k не совпадут в пределах желаемой точности.

3. После того как основные уравнения решены, находим величины

$$\rho_1 = \frac{1}{h}(u + l), \quad \rho_3 = M\rho_1, \tag{1.172}$$

а затем гелиоцентрические координаты (x_1, y_1, z_1) и (x_3, y_3, z_3) на моменты t_1 и t_3:

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= l_1\rho_1 - X_1, \quad & x_3 &= l_3\rho_3 - X_3, \\ y_1 &= m_1\rho_1 - Y_1, \quad & y_3 &= m_3\rho_3 - Y_3, \\ z_1 &= n_1\rho_1 - Z_1, \quad & z_3 &= n_3\rho_3 - Z_3. \end{aligned}\right\} \tag{1.173}$$

Контроль:

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}, \quad r_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2 + z_3^2}.$$

4. Далее приступаем непосредственно к определению элементов орбиты по двум гелиоцентрическим положениям.

Вычисляем величины

$$\left.\begin{aligned}&\theta_1 = \frac{\sqrt{(r_1+r_3)^2-\sigma^2}-2r_1}{\sqrt{\sigma^2-(r_3-r_1)^2}}, \quad \theta_3 = \frac{2r_3-\sqrt{(r_1+r_3)^2-\sigma^2}}{\sqrt{\sigma^2-(r_3-r_1)^2}},\\ &M_1 = \frac{\sqrt{2}}{k}\left(\theta_2+\frac{1}{3}\theta_1^3\right), \quad M_3 = \frac{\sqrt{2}}{k}\left(\theta_2+\frac{1}{3}\theta_3^3\right), \quad k = 0{,}017\,2021,\end{aligned}\right\} \tag{1.174}$$

а затем перигелийное расстояние q:

$$q = \frac{r_1}{1+\theta_1^2} \quad \text{или} \quad q = \frac{r_3}{1+\theta_3^2}, \tag{1.175}$$

и момент прохождения через перигелий τ:

$$\tau = t_1 - M_1 q\sqrt{q} \quad \text{или} \quad \tau = t_3 - M_3 q\sqrt{q}. \tag{1.176}$$

Оба значения q и оба значения τ должны совпадать.

5. С целью определения элементов ☊, ω, i вычисляем сначала величины

$$\left.\begin{aligned}&s = (1-\theta_1^2):(1-\theta_1^2),\\ &b_1 = sx_3 - x_1, \quad b = \sqrt{b_1^2+b_2^2+b_3^2},\\ &b_2 = sy_3 - y_1, \quad n_j^\circ = \frac{2q}{b} b_j, \ j = 1, 2, 3,\\ &b_3 = sz_3 - z_1,\end{aligned}\right\} \tag{1.177}$$

$$\left.\begin{aligned}&a_1 = x_1 - \theta_1 n_1^\circ, \quad a = \sqrt{a_1^2+a_2^2+a_3^2},\\ &a_2 = y_1 - \theta_1 n_2^\circ, \quad m_j = \frac{q}{a} a_j, \ j = 1, 2, 3,\\ &a_3 = z_1 - \theta_1 n_3^\circ,\end{aligned}\right\} \tag{1.178}$$

$$\varepsilon = -\frac{1}{q^2}\sum_1^3 n_j^\circ m_j, \quad n_j = n_j^\circ + \varepsilon m_j, \quad j = 1, 2, 3. \tag{1.179}$$

Контроль

$$\sum_1^3 m_j^2 = q^2, \quad \sum_1^3 n_j^2 = 4q^2, \quad \sum_1^3 m_j n_j = 0. \tag{1.180}$$

После этого вычисляем

$$\left.\begin{aligned}&P_1 = \frac{m_1}{q}, && Q_1 = \frac{n_1}{2q},\\ &P_2 = \frac{1}{q}(m_2\cos\varepsilon + m_3\sin\varepsilon), && Q_2 = \frac{1}{2q}(n_2\cos\varepsilon + n_3\sin\varepsilon),\\ &P_3 = \frac{1}{q}(m_3\cos\varepsilon - m_2\sin\varepsilon), && Q_3 = \frac{1}{2q}(n_3\cos\varepsilon - n_2\sin\varepsilon),\\ &R_1 = P_2Q_3 - P_3Q_2, \quad R_2 = P_3Q_1 - P_1Q_3, && R_3 = P_1Q_2 - P_2Q_1.\end{aligned}\right\} \tag{1.181}$$

Контроль:

$$R_1^2 + R_2^2 = P_3^2 + Q_3^2 = 1 - R_3^2. \qquad (1.182)$$

Элементы Ω, ω, i находим затем по формулам

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{P_3}{Q_3}, \quad \operatorname{tg}\Omega = \frac{R_1}{-R_2}, \quad \operatorname{tg} i = \frac{R_1}{R_3 \sin \Omega}, \qquad (1.183)$$

где знаки числителей и знаменателей в первых двух формулах совпадают со знаками синусов и косинусов ω, Ω соответственно, а угол i лежит в первой четверти, если $\operatorname{tg} i > 0$, и во второй четверти, если $\operatorname{tg} i < 0$.

Вычисление элементов на этом заканчивается. Для проверки следует представить с помощью этих элементов среднее наблюдение, т. е. вычислить α и δ на момент t_2.

Пример. Даны три наблюдения кометы 1939 III (комета Юрлова—Ахмарова—Хасселя):

	α	δ
t_1 (19 апреля 1939 г. $19^h 24^m 42^s$)	37° 6′ 24″	43° 43′ 46″,
t_2 (22 апреля 1939 г. $19^h 30^m 48^s$)	51 59 58	43 29 14,
t_3 (25 апреля 1939 г. $20^h 2^m 45^s$)	63 56 8	41 30 38.

Выражаем моменты времени и разности между ними, переводя часы, минуты и секунды в доли суток:

$$t_1 = \text{апреля } 19{,}808\,82, \quad t_2 = \text{апреля } 22{,}813\,06, \quad t_3 = \text{апреля } 25{,}832\,54,$$

$$t_2 - t_1 = 3{,}004\,24, \quad t_3 - t_1 = 6{,}026\,42, \quad t_3 - t_2 = 3{,}022\,18.$$

Находим, используя Астрономический Ежегодник СССР, прямоугольные геоцентрические (экваториальные) координаты Солнца:

	t_1	t_2	t_3
X	0,880 03,	0,854 78,	0,827 11,
Y	0,444 56,	0,485 67,	0,525 73,
Z	0,192 81,	0,210 64,	0,228 02.

1. Вычисляем по формулам (1.168), (1.169):

$$l_1 = 0{,}576\,29 \qquad l_2 = 0{,}446\,69, \qquad l_3 = 0{,}329\,02,$$
$$m_1 = 0{,}435\,95, \qquad m_2 = 0{,}571\,72, \qquad m_3 = 0{,}329\,02,$$
$$n_1 = 0{,}691\,25, \qquad n_2 = 0{,}688\,19, \qquad n_3 = 0{,}662\,76,$$
$$A = -0{,}213\,81, \qquad B = 0{,}494\,16, \qquad C = -0{,}271\,75,$$
$$q_1 = -0{,}095\,635, \qquad q_3 = 0{,}081\,954, \qquad J_2 = 0{,}940\,99,$$
$$g^2 = 0{,}010\,629$$

$$L_1 = 0{,}029\,228, \quad L_3 = 0{,}060\,525, \quad C_1 = -0{,}834\,24, \quad C_3 = -0{,}776\,90,$$
$$S_1^2 = 0{,}313\,30, \quad S_3^2 = 0{,}408\,93.$$

2. Вычисляем по формулам (1.170):

$$M = 1{,}200\,11, \quad \tau_2 = 0{,}103\,667, \quad h^2 = 0{,}181\,67, \quad l = 0{,}101\,80,$$
$$p^2 = 0{,}000\,27, \quad K_1 = -0{,}586\,45, \quad K_3 = -0{,}486\,02,$$

и составляем основные уравнения (1.171):

$$\eta = 0{,}207\,33\,(r_1 + r_3)^{-3/2},$$

$$\sigma = (r_1 + r_3)\,\eta\left(1 + \frac{1}{24}\eta^2 + \frac{5}{384}\eta^4\right), \quad u = \sqrt{\sigma^2 - p^2},$$

$$r_1^2 = (2{,}434\,1u - 0{,}586\,45)^2 + 0{,}313\,30,$$

$$r_3^2 = (2{,}857\,4u - 0{,}486\,02)^2 + 0{,}408\,93.$$

Решая эти уравнения, получим с точностью до 0,00001:

$$r_1 = 0{,}574\,64, \quad r_3 = 0{,}641\,41,$$

$$\sigma = 0{,}188\,21, \quad u = 0{,}187\,51, \quad \eta = 0{,}154\,61.$$

3. Находим по формулам (1.172), (1.173) $\rho_1, \ldots, z_3$:

$$\rho_1 = 0{,}704\,21, \quad \rho_3 = 0{,}826\,67,$$

$$x_1 = -0{,}474\,20, \quad y_1 = -0{,}137\,56, \quad z_1 = 0{,}293\,398,$$

$$x_3 = -0{,}555\,12, \quad y_3 = 0{,}030\,35, \quad z_3 = 0{,}319\,86.$$

4. Вычисляем по формулам (1.174)—(1.176) $\theta_1, \ldots, q, \tau$:

$$\theta_1 = 0{,}296\,19, \quad \theta_3 = 0{,}462\,69, \quad M_1 = 25{,}062, \quad M_3 = 40{,}753,$$

$$q = \frac{r_1}{1 + \theta_1^2} = 0{,}528\,29, \qquad q = \frac{r_3}{1 + \theta_3^2} = 0{,}528\,31,$$

$$\tau = t_1 - M_1 q^{3/2} = 10{,}185\,2, \quad \tau = t_3 - M_3 q^{3/2} = 10{,}183\,8.$$

Окончательно принимаем:

$$q = 0{,}528\,30, \quad \tau = 10{,}184\,5.$$

5. Вычисляем далее по формулам (1.177)—(1.183):

$$s = 1{,}160\,77, \quad b_1 = -0{,}170\,17, \quad b_2 = 0{,}172\,79, \quad b_3 = 0{,}077\,30,$$

$$b = 0{,}254\,54, \quad n_1^0 = -0{,}706\,38, \quad n_2^0 = 0{,}717\,26, \quad n_3^0 = 0{,}320\,88,$$

$$a_1 = -0{,}264\,98, \quad a_2 = -0{,}350\,01, \quad a_3 = 0{,}198\,94, \quad a = 0{,}481\,97,$$

$$m_1 = -0{,}290\,45, \quad m_2 = -0{,}383\,65, \quad m_3 = 0{,}218\,06, \quad \varepsilon = 0{,}000\,14,$$

$$n_1 = -0{,}706\,42, \quad n_2 = 0{,}717\,21, \quad n_3 = 0{,}320\,91,$$

$$P_1 = -0{,}549\,78, \quad P_2 = -0{,}502\,00, \quad P_3 = 0{,}667\,63,$$

$$Q_1 = -0{,}668\,58, \quad Q_2 = 0{,}743\,59, \quad Q_3 = 0{,}008\,55,$$

$$R_1 = -0{,}500\,74, \quad R_2 = -0{,}441\,66, \quad R_3 = -0{,}744\,44,$$

$$\operatorname{tg}\Omega = -1{,}133\,77, \qquad \operatorname{tg} i = 0{,}896\,89, \qquad \operatorname{ctg}\omega = 0{,}012\,81,$$

$$\Omega = 311^\circ\,24'\,46'', \qquad i = 138^\circ\,6'\,41'', \qquad \omega = 89^\circ\,15'\,58''.$$

На этом вычисление элементов параболической орбиты $q, \tau, \Omega, i, \omega$ заканчивается. Далее следует для проверки вычислить на основании полученных элементов координаты α, δ на средний момент t_2. Такие вычисления были проведены в § 19 на с. 94—95. Мы получим координаты

$$\alpha = 52^\circ\,0'\,8'', \quad \delta = 43^\circ\,29'\,17'',$$

отличающиеся от наблюденных α, δ на момент t_2 на 10″ и 3″ соответственно. Такие расхождения для параболической орбиты, определенной по приведенным выше формулам, вполне удовлетворительны, поскольку эти формулы позволяют определить элементы орбиты лишь в первом приближении.

Определение элементов гелиоцентрической орбиты по положению и скорости. Пусть в какой-либо момент t известны прямоугольные гелиоцентрические координаты x, y, z и компоненты скорости $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ небесного тела. Этого достаточно для определения элементов орбиты.

1. Вычисляем радиус-вектор r, скорость V и постоянную интеграла энергии h:

$$r=\sqrt{x^2+y^2+z^2}, \quad V=\sqrt{\dot{x}^2+\dot{y}^2+\dot{z}^2}, \quad h=V^2-\frac{2k^2}{r} \tag{1.184}$$

$$(k=0{,}0172021).$$

Положительному значению h соответствует гиперболическая, отрицательному — эллиптическая и нулевому — параболическая орбиты. В первых двух случаях действительная (или большая) полуось равна

$$a=\frac{k^2}{|h|}. \tag{1.185}$$

2. В случае эллиптической орбиты вычисляем эксцентриситет e и эксцентрическую аномалию и далее среднюю аномалию на момент t по формулам

$$e\sin E=\frac{d}{k\sqrt{a}}, \quad e\cos E=1-\frac{r}{a}, \quad M=E-e^{\circ}\sin E, \tag{1.186}$$

где $d = x\dot{x} + y\dot{y} + z\dot{z}$, $e^{\circ} = 57^{\circ},295780e$.

В случае гиперболической орбиты вычисляем e, H (аналог E) и момент τ прохождения через перигелий по формулам

$$e\operatorname{sh} H=\frac{d}{k\sqrt{a}}, \quad e\operatorname{ch} H=1+\frac{r}{a}, \tag{1.187}$$

$$\tau=t+(H-e\operatorname{sh} H)\frac{a^{3/2}}{k}. \tag{1.188}$$

В случае параболической орбиты вычисляем перигелийное расстояние q и τ:

$$q=r-\frac{d^2}{2k^2}, \quad \tau=t-\frac{\sqrt{2q^3}}{k}\left(\theta+\frac{1}{3}\theta^3\right), \tag{1.189}$$

где

$$\theta=\frac{d}{k\sqrt{2q}}.$$

3. Из соотношений

$$\left.\begin{aligned} k\sqrt{p}\sin i\sin\Omega &= y\dot{z}-z\dot{y},\\ k\sqrt{p}\sin i\cos\Omega &= x\dot{z}-z\dot{x},\\ k\sqrt{p}\cos i &= x\dot{y}-y\dot{x} \end{aligned}\right\} \tag{1.190}$$

находим для всех трех типов орбит i, Ω, а также параметр орбиты p. Контроль: $p = a(1 - e^2)$ для эллиптической орбиты, $p = a(e^2 - 1)$ для гиперболической, $p = 2q$ — для параболической.

4. Находим истинную аномалию v (на момент t) и элемент ω по формулам

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg} v &= \frac{d\sqrt{p}}{k(p-r)}, \\ \operatorname{tg} u &= \frac{z \operatorname{cosec} i}{x\cos\Omega + y\sin\Omega}, \\ \omega &= u - v. \end{aligned}\right\} \qquad (1.191)$$

Как и всюду выше, знаки синусов и косинусов углов v, u соответствуют знакам числителей и знаменателей.

Если исходные координаты x, y, z эклиптические, то мы получим обычные угловые элементы Ω, i, ω, отнесенные к плоскости эклиптики. Если x, y, z — экваториальные координаты, то для получения эклиптических элементов надо преобразовать x, y, z, $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$ к эклиптическим координатам и компонентам скорости по формулам (1.79) и аналогичным для $\dot{x}$, $\dot{y}$, $\dot{z}$.

При анализе гелиоцентрического движения АМС важное значение имеют также формулы, позволяющие определить изменение орбиты (т. е. ее элементов и различных характеристик) при малых изменениях величины и направления скорости в некоторый момент времени t. Мы рассмотрим наиболее простой случай.

Пусть АМС движется по эллиптической гелиоцентрической орбите (рис. 44) и в момент t находится в точке Q. Радиус-вектор, скорость, истинная аномалия равны в этот момент r, V, v. Угол между r и V равен φ; Π — перигелий; A — афелий орбиты, r_A, r_Π — афелийное и перигелийное расстояния. Значения r, V, φ связаны с элементами орбиты a, e, и с истинной аномалией v приведенными выше формулами. Пусть скорость и ее направление в этот момент изменились так, что новая скорость $V_1 = V + \Delta V$ и угол между r и V_1 равен $\varphi_1 = \varphi + \Delta\varphi$. После этого момента движение АМС будет происходить уже по другой орбите с элементами $a_1 = a + \Delta a$, $e_1 = e + \Delta e$ с новыми точками афелия A_1 и перигелия Π_1. Если ΔV и $\Delta\varphi$ малы, то формулы для вычисления приращений Δa, Δe, Δr_A, Δv, соответствующие

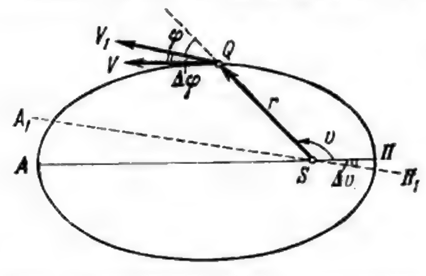


Рис. 44. Изменение орбиты после изменения величины и направления скорости.

переходу на другую орбиту, следующие:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{\Delta a}{a}=2\frac{V}{\tilde{V}^2}\Delta V,\\
&\Delta e=2\,\frac{1-e^2}{e}\left[\left(\frac{V^2}{\tilde{V}^2}-1\right)\frac{\Delta V}{V}-\operatorname{tg}\varphi\cdot\Delta\varphi\right],\\
&\Delta v=-\left[\left(\operatorname{tg}\varphi+\frac{p+r}{p-r}\operatorname{ctg}\varphi\right)\Delta\varphi+\frac{2r}{p-r}\frac{\Delta V}{V}\right]\cos v\cdot\sin v,\\
&\Delta r_A=\Delta a(1+e)+a\,\Delta e,\quad \Delta r_\Pi=\Delta a(1-e)-a\,\Delta e,
\end{aligned}\right\}\qquad(1.192)$$

где $\tilde{V}$ — скорость на круговой орбите радиуса a.

Эти формулы позволяют определить элементы и характеристики новой орбиты, в частности, новые положения перигелия и афелия, новые перигелийное и афелийное расстояния. С такой задачей мы встречаемся при коррекции орбит, при определении отклонений фактической орбиты по сравнению с расчетной из-за погрешностей направления и величины начальной скорости.

Формулы этого раздела также пригодны для определения невозмущенной орбиты в случае движения ИСЗ или АМС вокруг Земли. Следует лишь заменить постоянную тяготения k^2 на геоцентрическую гравитационную постоянную $k^2m_\oplus$ (см. § 18). В этом случае координаты и компоненты скорости обычно относят к геоцентрической экваториальной системе координат (см. § 16) и измеряют в соответствующей метрической системе единиц. Формулы, приведенные здесь, дополняют те, которые были приведены в § 18. Заметим, что угол ψ наклона скорости к горизонту связан с величиной d (см. (1.186)) формулой

$$d=rV\sin\psi,\qquad(1.193)$$

причем $\psi>0$, если V направлена вверх по отношению к горизонту, и $\psi<0$, если V направлена вниз.

§ 21. Предвычисление солнечных затмений

Солнечное затмение представляет собой явление покрытия солнечного диска Луной и, в зависимости от обстоятельств, может быть *полным*, *кольцеобразным* и *частным*.

Ход затмения характеризуется рядом величин, называемых *бесселевыми элементами* затмения, которые позволяют вычислить условия видимости затмения в любой точке земной поверхности. Как правило, бесселевы элементы вычисляются на различные моменты эфемеридного (реже — всемирного, или среднего гринвичского) времени и в случае необходимости могут быть отнесены к любой другой системе счета времени (см. § 5).

Связь между эфемеридным T_e и всемирным T_0 временем приводится в астрономических ежегодниках на текущий год в виде поправки

$$\Delta T = T_e - T_0. \tag{1.194}$$

Основные характеристики видимости солнечного затмения в различных местах земной поверхности наносятся на географическую карту в виде линий, соединяющих точки земной поверхности с теми или иными одинаковыми величинами и поэтому называемых *изолиниями*. Так, изолинии, соединяющие точки земной поверхности, в которых наблюдается одновременное начало (конец) частного затмения, называются *изохронами начала* (*конца*) частного затмения. Линии, проходящие через точки земной поверхности, в которых одновременно наступает наибольшая фаза затмения, называются *изохронами наибольшей фазы*. Линии, проходящие через места с одинаковой наибольшей фазой затмения, называются *изофазами наибольшей фазы*. Между изофазами полной фазы (Ф = 1,00) лежит полоса лунной тени или *полоса* полного *солнечного затмения*, в пределах которой продолжительность полной фазы затмения тем больше, чем ближе к середине полосы лежит место наблюдения. Часто эта полоса называется *полосой главной фазы*. В середине полосы тени проходит *линия центрального затмения*, на которой величина и продолжительность полной фазы затмения наибольшая.

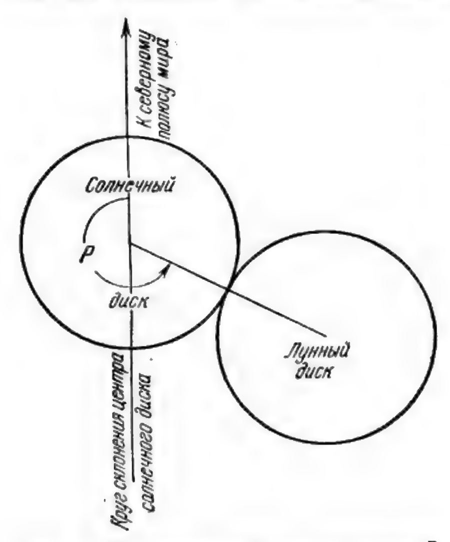


Рис. 45. К определению угла положения P точек касания лунного и солнечного дисков.

В моменты начала и конца частного затмения происходит внешнее касание лунного и солнечного дисков. Положение точек касания на диске Солнца определяется позиционным углом P (или углом положения) при центре солнечного диска, отсчитываемым от северной его точки против часовой стрелки (рис. 45). Те точки земной поверхности, из которых касание дисков Луны и Солнца усматривается при одинаковом позиционном угле P, соединяются на карте изолиниями, называемыми соответственно *изогонами начала* и *изогонами конца* частного затмения. На карту наносят также границы видимости солнечного затмения. Северная и южная границы видимости определяются смыканием одинаковых изохрон начала и конца частного затмения. Восточные границы видимости проходят по

тем местам земной поверхности, в которых начало, середина (наибольшая фаза) и конец затмения видны при заходе Солнца. Западные границы определяются теми же условиями при восходе Солнца.

Существуют аналитические, графические и полуграфические *) методы вычислений солнечных затмений. Мы здесь опишем только аналитический и полуграфический методы.

Аналитический метод. Принятый в настоящее время аналитический метод вычислений солнечных затмений впервые разработан Ф. Бесселем.

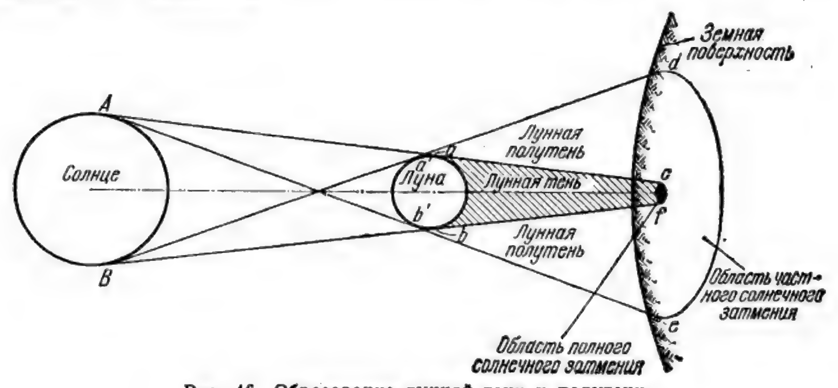


Рис. 46. Образование лунной тени и полутени.

Сущность способа Бесселя состоит в том, что по координатам центров Солнца и Луны и их радиусам составляются уравнения круговых конических поверхностей, касательных к поверхностям этих светил (рис. 46). Коническая поверхность, образованная внешними касательными *Aac* и *Bbf*, ограничивает в пространстве лунную тень *acfb*. Коническая поверхность, образованная внутренними касательными *Ab'e* и *Ba'd*, дает пространственную границу лунной полутени. Решая уравнения этих конических поверхностей совместно с уравнением земной поверхности, принимаемой за сфероид, получают линии пересечения обоих конусов с земной поверхностью. Эти линии являются соответственно изохронами начала и конца полного и частного солнечного затмения для Земли вообще. Изофазы частного затмения вычисляются из условия, что коническая поверхность касается не солнечного шара, а концентрического шара меньшего диаметра, соответствующего определенной фазе частного затмения. Изогоны и изохроны вычисляются соответственно из условий равных позиционных углов *P* и одинаковых моментов времени начала и конца затмения.

Решение систем уравнений приводит к определению географических координат точек земной поверхности, по которым уже

*) Полуграфический, или смешанный, метод изложен в § 23 на с. 146.

наносятся на географическую карту изолинии. Точность вычисления географических координат должна составлять 0′,1, для чего вычисления проводятся до пятого знака после запятой.

Уравнения конических поверхностей лунной тени и полутени и уравнение земного сфероида имеют наиболее простой вид в особой прямоугольной геоцентрической системе координат, называемой *бесселевой системой прямоугольных координат*. Началом этой системы координат является центр Земли O (рис. 47), через

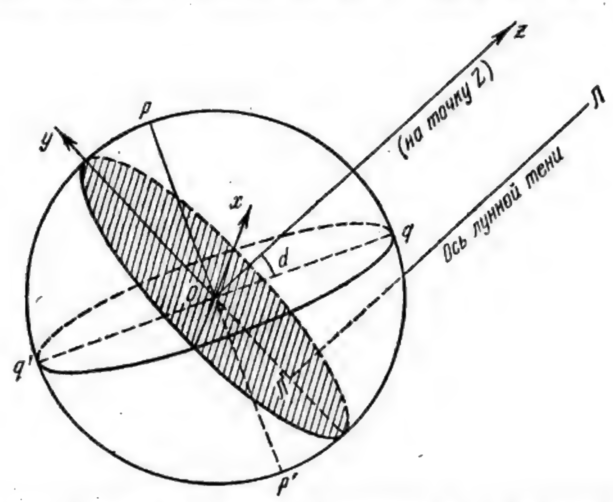


Рис. 47. Бесселева система прямоугольных координат: p и p' — северный и южный полюсы Земли, qq' — земной экватор, d — склонение точки Z.

который проходит основная плоскость xy координатной системы, всегда перпендикулярная к оси конуса лунной тени $ЛЛ'$ (полутени). По мере суточного движения Луны и Солнца основная плоскость системы все время поворачивается по часовой стрелке, если смотреть со стороны Луны. Линия пересечения основной плоскости с плоскостью земного экватора qq' служит осью x, положительным направлением которой считается направление в сторону движения лунной тени (в общем, к востоку). Ось y, перпендикулярная к оси x, лежит в основной плоскости, и ее положительным направлением считается направление в северное полушарие Земли (ее северный полюс обозначен p). Ось Z перпендикулярна к осям x и y, всегда параллельна оси конуса лунной тени, и ее положительным направлением считается направление в сторону Луны. Ось z пересекается с небесной сферой в точке, называемой точкой Z.

Введем следующие обозначения:

1. В бесселевой системе координат:

x, y, z — координаты центра Луны,

x', y', z' — изменения координат центра Луны за 1 минуту,

ξ, η, ζ — текущие координаты точек конической поверхности лунной тени и полутени, а также точек земной поверхности,

ξ', η', ζ' — изменения координат ξ, η, ζ за 1 минуту,

ρ — радиус Земли в произвольной точке ее поверхности (радиус-вектор точки земной поверхности),

ρ_0 — экваториальный радиус Земли (6378 км), принимаемый в расчетах за единицу измерения всех линейных величин ($\rho_0 = 1$),

f_e — угол между образующей конуса лунной полутени и его осью,

f_i — угол между образующей конуса лунной тени и его осью,

u_e — радиус сечения конуса лунной полутени основной координатной плоскостью xy,

u_i — радиус сечения конуса лунной тени основной координатной плоскостью,

l_e — радиус сечения конуса лунной полутени плоскостью математического горизонта места наблюдения,

l_i — радиус сечения конуса лунной тени плоскостью математического горизонта места наблюдения.

2. В экваториальной системе координат:

	Солнце	Луна	Точка Z
Геоцентрическое прямое восхождение	$\alpha_\odot$	$\alpha_☾$	a
Геоцентрическое склонение	$\delta_\odot$	$\delta_☾$	d
Изменение прямого восхождения за 1 минуту	$\Delta\alpha_\odot$	$\Delta\alpha_☾$	—
Изменение склонения за 1 минуту	$\Delta\delta_\odot$	$\Delta\delta_☾$	—
Геоцентрическое расстояние	$\Delta_\odot$	$\Delta_☾$	
Горизонтальный экваториальный параллакс	$p_\odot$	$p_☾$	
Угловой радиус	$r_\odot$	$r_☾$	
Часовой угол на начальном земном меридиане	—	—	μ
Изменение часового угла за одну минуту	—	—	μ'

При использовании всемирного времени за начальный меридиан принимается гринвичский меридиан. При использовании же эфемеридного времени за начальный принимается эфемеридный меридиан, расположенный к востоку от гринвичского на

$$\Delta\lambda = 1{,}0027 \cdot \Delta T \approx 1{,}003\,\Delta T,$$

где ΔT определяется формулой (1.194).

Считая восточную долготу положительной (что значительно удобнее, так как в этом случае время возрастает с ростом долготы), получим связь между географической долготой λ и

эфемеридной долготой λ_e:

$$\lambda = \lambda_e + 1{,}0027 \cdot \Delta T. \qquad (1.195)$$

Если при вычислениях довольствоваться точностью не выше 1^s, то на протяжении длительного времени можно полагать

$$\lambda = \lambda_e + \Delta T, \qquad (1.196)$$

так как лишь через 200 лет величина $0{,}0027 \cdot \Delta T$ превысит $0^s{,}5$.

Для численно равных моментов всемирного и эфемеридного времени часовые углы μ точки Z на гринвичском и эфемеридном меридианах одинаковы.

Бесселевыми элементами затмения *) называются величины x, y, x', y', d, u_e, u_i $\operatorname{tg} f_e$, $\operatorname{tg} f_i$, μ и μ'.

В астрономических ежегодниках приводят следующие значения этих величин:

x, y, $\sin d$, $\cos d$, u_e, u_i и μ — через каждые 10 минут;

x' и y' — на каждый целый час (ввиду малого их изменения);

$\operatorname{tg} f_e$, $\operatorname{tg} f_i$ и μ' — одно значение для середины затмения, так как эти элементы в течение всего затмения практически остаются постоянными.

Здесь приняты те же обозначения бесселевых элементов, как в Астрономическом Ежегоднике СССР и переменной части Астрономического Календаря ВАГО.

Уравнение конуса лунной тени (полутени) в бесселевой системе координат имеет вид

$$(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 = (u - \zeta \cdot \operatorname{tg} f)^2. \qquad (1.197)$$

Уравнение земного сфероида

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = \rho^2. \qquad (1.198)$$

Совместное решение (1.197) и (1.198) дает значение координат ξ, η и ζ точек земной поверхности, лежащих на границе лунной тени и полутени; по этим координатам находят географические координаты λ (долготу) и φ (широту) тех же точек. В местах земной поверхности с $\xi = 0$ затмение наблюдается в меридиане, а с $\zeta = 0$ — в горизонте.

Средние значения углов f_i и f_e и пределы их возможных изменений следующие:

$$f_i = 16'\,00'' \pm 18''; \quad f_e = 16'\,04'' \pm 18''.$$

Оба угла связаны между собой соотношениями

$$\operatorname{tg} f_i = 0{,}9950187 \cdot \operatorname{tg} f_e \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} f_e = 1{,}0050062 \cdot \operatorname{tg} f_i. \qquad (1.199)$$

Величина u_e радиуса сечения лунной полутени всегда положительна, так как конус полутени расходящийся. Значение же

---

*) С вычислениями бесселевых элементов можно познакомиться в книге А. А. Михайлова «Теория затмений» (М.: Гостехиздат, 1954).

u_l радиуса сечения лунной тени может быть и положительным, и отрицательным, в зависимости от вида затмения. При $u_l < 0$ затмение полное; при $u_l > 0$ оно может быть кольцеобразным. Критерием служит радиус l_l сечения конуса лунной тени плоскостью математического горизонта места наблюдения:

$$l_l = u_l - \zeta \operatorname{tg} f_l; \qquad (1.200)$$

при $l_l < 0$ затмение в данном месте полное; при $l_l > 0$ затмение кольцеобразное.

Приближенное значение разности (с точностью до четырех знаков)

$$u_e - u_l = 0{,}5464. \qquad (1.201)$$

Часовой угол точки Z

$$\mu = S - a,$$

где S — звездное время в данный момент T на начальном меридиане.

Минутное изменение μ' часового угла μ часто выражается в радианах.

Если кратчайшее расстояние центра Земли от оси конуса лунной тени $g > 0$, то ось конуса проходит севернее центра Земли; при $g < 0$ ось конуса тени проходит южнее центра Земли. Радиус ρ точек земной поверхности, в которых возможно касание лунной полутени, заключен в узких пределах (с учетом рефракции) $0{,}9972 < \rho < 0{,}9977$.

При $|g| < \rho - u_e$ полутень полностью вступает на Землю, т. е. обе ее границы (северная и южная) проходят по земной поверхности (затмение первого типа). При $|g| > \rho - u_e$ полутень только частично захватывает Землю и затмение имеет лишь одну границу, а вторая граница отсутствует и ее принято считать мнимой (затмение второго типа), причем при $g > 0$ отсутствует северная граница, а при $g < 0$ отсутствует южная граница затмения.

Предвычисление затмения для данного места земной поверхности. Пользуясь бесселевыми элементами затмения, можно определить условия видимости затмения в любом пункте земной поверхности. Каждая точка земной поверхности характеризуется географической долготой λ, географической широтой φ и радиусом-вектором ρ, т. е. расстоянием этой точки (пункта наблюдений) от центра Земли. В уравнения, по которым предвычисляются затмения, входят бесселевы координаты пункта наблюдений ξ, η и ζ, определяемые по λ, φ и ρ.

Однако бесселевы координаты связаны не с географической широтой φ, а с геоцентрической широтой φ'. Поэтому находят вспомогательный угол p, определяемый через $\sin p = e \sin \varphi$ и затем вычисляют

$$\rho \sin \varphi' = \frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p}, \quad \rho \cos \varphi' = \frac{\cos \varphi}{\cos p}, \qquad (1.202)$$

где e — эксцентриситет земного меридиана пункта наблюдений и b — малая полуось земного сфероида, выраженная в долях $\rho_0 = 1$.

Для земного эллипсоида (см. § 1 гл. 1) сжатие $\varepsilon = 1/298,26$, $e = 0,081820$, $b = 0,996647$ и $b^2 = 0,993305$.

Тогда для определенного момента времени T

$$\left.\begin{aligned} \xi &= \rho \cos \varphi' \sin (\mu + \lambda), \\ \eta &= \rho \sin \varphi' \cos d - \rho \cos \varphi' \sin d \cos (\mu + \lambda), \\ \zeta &= \rho \sin \varphi' \sin d + \rho \cos \varphi' \cos d \cos (\mu + \lambda), \end{aligned}\right\} \quad (1.203)$$

а их минутные изменения

$$\left.\begin{aligned} \xi' &= 0,004364 \cdot \rho \cos \varphi' \cos (\mu + \lambda), \\ \eta' &= 0,004364 \cdot \xi \sin d, \\ \zeta' &= -0,004364 \cdot \xi \cos d. \end{aligned}\right\} \quad (1.204)$$

Здесь и в дальнейшем необходимо иметь в виду, что при выражении T по всемирному времени в формулы подставляется географическая долгота λ; если же используется эфемеридное время, то в формулы подставляется эфемеридная долгота λ_e, определяемая равенством (1.195) или (1.196). Значение часового угла μ в этих двух системах времени остается одинаковым.

Прежде всего следует вычислить координату ζ, так как при $\zeta < 0,15$ для получения точных результатов вычислений необходимо учитывать влияние рефракции. При затмении в горизонте ($\zeta = 0,00$) учет рефракции обязателен. Этот учет производится путем введения в величину ρ поправки $\Delta\rho$ согласно табл. III.

Таблица III

ζ	$\Delta\rho$	$\Delta \lg \rho$	ζ	$\Delta\rho$	$\Delta \lg \rho$
0,00	0,00028	0,00012	0,07	0,00004	0,00002
0,01	20	9	0,08	4	2
0,02	15	6	0,09	3	1
0,03	11	5	0,10	2	1
0,04	8	4	0,12	2	1
0,05	7	3	0,14	1	1
0,06	5	2			

Поправка $\Delta\rho$ прибавляется к ρ, а при логарифмических вычислениях $\Delta \lg \rho$ прибавляется к $\lg \rho$.

Если возникла необходимость во введении $\Delta\rho$, то из формул (1.202) вычисляется

$$\rho = +\sqrt{\left(\frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p}\right)^2 + \left(\frac{\cos \varphi}{\cos p}\right)^2}, \quad (1.205)$$

затем, сообразно со значением ζ, из табл. III берется $\Delta\rho$ и вычисляется коэффициент

$$\varkappa = 1 + \frac{\Delta\rho}{\rho}, \tag{1.206}$$

на который множатся значения $\rho \sin \varphi'$ и $\rho \cos \varphi'$, вычисленные по формуле (1.202).

Кроме того, в ρ приходится вводить поправку ΔH на высоту H пункта наблюдений над уровнем моря. Эта поправка

$$\text{для} \quad \rho \sin \varphi' \quad \text{равна} \quad \Delta H_s = \frac{H \sin \varphi}{6378}, \tag{1.207}$$

$$\text{для} \quad \rho \cos \varphi' \quad \text{равна} \quad \Delta H_c = \frac{H \cos \varphi}{6378}, \tag{1.208}$$

где H выражено в километрах.

В общем случае, когда приходится учитывать поправки $\varkappa$ и ΔH, в формулы (1.203) и (1.204) подставляются значения

$$\left.\begin{aligned} \rho \sin \varphi' &= \varkappa \frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p} + \Delta H_s \\ &\text{и} \\ \rho \cos \varphi' &= \varkappa \frac{\cos \varphi}{\cos p} + \Delta H_c. \end{aligned}\right\} \tag{1.209}$$

В частных случаях могут быть $\varkappa = 1$ и $\Delta H = 0$.

После определения ξ, η и ζ полезно проверить правильность вычислений. Для этого следует вычислить ρ по формулам (1.209),

$$\rho = \sqrt{\left(\varkappa \frac{b^2 \sin \varphi}{\cos p} + \Delta H_s\right)^2 + \left(\varkappa \frac{\cos \varphi}{\cos p} + \Delta H_c\right)^2},$$

и результаты сравнить с

$$\rho = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}. \tag{1.210}$$

Значения ρ из этих двух формул должны быть близкими друг к другу и совпадать в четвертом десятичном знаке.

Радиус полутени l_e на плоскости математического горизонта пункта наблюдения может быть вычислен по радиусу u_e полутени на основной плоскости бесселевых координат и по тангенсу угла f_e между осью и образующей конуса полутени.

$$l_e = u_e - \zeta \operatorname{tg} f_e. \tag{1.211}$$

Величины u_e и $\operatorname{tg} f_e$ берутся на данный момент T из таблицы бесселевых элементов затмения.

Точно так же радиус l_i тени на плоскости математического горизонта определяется по радиусу u_i тени на основной плоскости и по углу f_i:

$$l_i = u_i - \zeta \operatorname{tg} f_i. \tag{1.212}$$

Расстояние m места наблюдения от оси конуса лунной тени (от линии центрального затмения) определяется по формуле

$$m^2 = (x - \xi)^2 + (y - \eta)^2. \qquad (1.213)$$

Для удобства дальнейших вычислений вводят величины M, N и n. Полагают:

$$\left.\begin{aligned} x - \xi &= m \sin M, & x' - \xi' &= n \sin N, \\ y - \eta &= m \cos M, & y' - \eta' &= n \cos N, \end{aligned}\right\} \qquad (1.214)$$

где $m > 0$ и $n > 0$, а m есть величина из формулы (1.213).

На заданный момент T вычисляют M, N и n по формулам

$$\left.\begin{aligned} &\operatorname{tg} M = \frac{x - \xi}{y - \eta}, \quad \operatorname{tg} N = \frac{x' - \xi'}{y' - \eta'} \\ \text{и} \\ &n = +\sqrt{(x' - \xi')^2 + (y' - \eta')^2}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.215)$$

Значения углов M и N выбираются в соответствии со знаками в формулах (1.214).

Позиционные углы P точек касания лунного и солнечного дисков определяются равенством

$$\sin (P - N) = \frac{m}{l_e} \sin (M - N), \qquad (1.216)$$

причем для начала затмения (первый контакт) $l_e \cos (P - N) < 0$, а для конца затмения (последний, или четвертый контакт) $l_e \cos (P - N) > 0$.

Затем находят

$$P = (P - N) + N. \qquad (1.217)$$

Формулы (1.216) и (1.217) позволяют также определить позиционные углы точек касания в моменты второго контакта (начало полного затмения) и третьего контакта (конец полного затмения). Для этого решают уравнение (1.216) на соответствующие моменты времени, заменяя в нем l_e на l_i:

$$\sin (P - N) = \frac{m}{l_i} \sin (M - N), \qquad (1.218)$$

причем для второго контакта $l_i \cos (P - N) < 0$, а для третьего контакта $l_i \cos (P - N) > 0$. Позиционные углы P вычисляют по формуле (1.217).

Моменты T любой фазы затмения, в том числе его начала и конца, определяют по исходным (начальным) моментам $T_{\text{и}}$, лежащим вблизи интересующих нас моментов. Пусть моментом начала (или конца) затмения будет $T_{\text{н}}$ (или $T_{\text{к}}$), вблизи которого лежит момент $T_{\text{и}}$ с известными для него бесселевыми элементами затмения. Тогда искомый момент

$$T_{\text{н}} = T_{\text{и}} + t, \qquad (1.219)$$

где t выражено в минутах времени и определяется равенством

$$t = \frac{1}{n}\,[l\cos(P - N) - m\cos(M - N)]. \qquad (1.220)$$

Для частного затмения (в том числе и для внешних контактов) $l = l_e = u_e - \zeta \operatorname{tg} f_e$; для полного и кольцеобразного затмения $l = l_i = u_i - \zeta \operatorname{tg} f_i$.

Этот исходный момент T_u может быть выбран по карте солнечного затмения. Если T_u выбран удачно, то значение t не превосходит нескольких минут и может считаться достаточным для определения искомого момента по формуле (1.219). Если же t оказалось бо́льшим 10 минут (интервал, на который даются бесселевы элементы), полученный момент $T_u + t$ округляется до целой минуты и принимается за новый исходный момент, для которого заново проводят все вычисления по формулам (1.203)—(1.217) и снова по формуле (1.220) определяют t. Обычно второго вычисления вполне достаточно для определения соответствующих моментов по формуле (1.219). Вычисления проводят до пятого знака, но для величин ξ', η' и n сохраняется точность до шестого знака, а для $(x' - \xi')^2$ и $(y' - \eta')^2$ — до восьмого знака.

Момент наибольшей фазы

$$T_m = T_c + t_m, \qquad (1.221)$$

где

$$t_m = -\frac{m}{n}\cos(M - N), \qquad (1.222)$$

причем все величины правой части равенства берутся для момента T_c геоцентрического соединения Луны с Солнцем.

Продолжительность τ полной и кольцеобразной фаз затмения определяется формулой

$$\tau = 2\cdot\frac{l_i}{n}\cdot\cos(P - N). \qquad (1.223)$$

Соответствующие моменты времени можно вычислить и другим путем. По карте солнечного затмения находят моменты времени, близкие к моментам контактов. Далее, для ряда целых минут вблизи этих моментов вычисляют l (т. е. l_e или l_i), m, M, и интерполяцией находят моменты T, для которых $l = m$. При частном и кольцеобразном затмении ($l_i > 0$) в эти моменты позиционный угол $P = M$; при полном затмении ($l_i < 0$) и $P = M \mp 180°$.

Если для точек касания лунного и солнечного дисков требуется определить их углы положения P_z от зенита, то $P_z = P - \gamma$, причем

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\xi}{\eta}. \qquad (1.224)$$

Линейная фаза затмения Φ для любого момента времени, в том числе и наибольшая линейная фаза Φ_m частного затмения, вычисляется по формуле

$$\Phi = \frac{l_e - m \sin (M - N)}{l_e + l_i}. \qquad (1.225)$$

Поскольку $l_e + l_i = 2l_e - (l_e - l_i)$, а различие между f_e и f_i не превышает 4", можно принять по формуле (1.201) $l_e - l_i = u_e - u_i = 0,5464$, и тогда

$$\Phi = \frac{l_e - m \sin (M - N)}{2 \cdot l_e - 0,5464}, \qquad (1.226)$$

что позволяет обойтись без знания l_i, которое для частных затмений не вычисляется.

Наибольшая линейная фаза Φ_m полного солнечного затмения вычисляется из условия $M - N = \mp 90°$, т. е. $|\sin (M - N)| = 1$.

Для пунктов наблюдений, расположенных к северу от линии центрального затмения, $M - N = -90°$, а для пунктов, лежащих к югу от той же линии, $M - N = +90°$.

Тогда из формул (1.225) и (1.226) получаем

$$\Phi_m = \frac{l_e - m}{l_e - l_i} \qquad (1.227)$$

или

$$\Phi_m = \frac{l_e - m}{2 \cdot l_e - 0,5464}. \qquad (1.228)$$

Если требуется найти угловое расстояние σ между центрами солнечного и лунного дисков в различные моменты затмения, то оно определяется так:

$$\sigma = 2 \cdot r_\odot \frac{m}{l_e + l_i}, \qquad (1.229)$$

где $r_\odot$ — радиус солнечного диска.

Часто бывает необходимо знать открытую часть $n_\odot$ углового диаметра солнечного диска, а также *поверхностную фазу* затмения $\Phi_0 = \frac{s}{s_\odot}$, т. е. отношение площади s части солнечного диска, покрытой Луной, ко всей площади $s_\odot$ солнечного диска. Эти величины могут быть найдены по формулам

$$n_\odot = 2r_\odot (1 - \Phi) = 2r_\odot \frac{l_i + m}{l_e + l_i} \qquad (1.230)$$

и

$$\Phi_0 = 1 - \Phi_g, \qquad (1.231)$$

где Φ_g — *геометрическая фаза затмения*, представляющая собой часть солнечного диска, не закрытую Луной и выраженную в долях площади $s_\odot$ солнечного диска.

Подсчет Φ_0 непосредственно через линейную фазу Φ затмения производится по формуле

$$\Phi_0 = \frac{1}{\pi}(b^2\psi_1 + \psi_2 - \nu), \qquad (1.232)$$

причем

$$\pi = 3{,}14159, \quad b = \frac{r_{☾}}{r_{\odot}},$$

$$\nu = 2\cdot\sqrt{\Phi(1-\Phi)(b-\Phi)(b+1-\Phi)}, \qquad (1.233)$$

а углы ψ_1 и ψ_2 выражаются в радианах и определяются формулами

$$\sin\psi_2 = \frac{\nu}{b+1-2\Phi} \quad \text{и} \quad \sin\psi_1 = \frac{\sin\psi_2}{b}. \qquad (1.234)$$

Ниже приводятся значения Φ_0 для некоторых значений b и Φ (табл. IV).

Таблица IV

b	Φ				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,90	0,03639	0,10110	0,18248	0,27581	0,37805
0,95	0,03688	0,10256	0,18538	0,28057	0,38490
1,00	0,03738	0,10409	0,18812	0,28476	0,39100
1,04	0,03776	0,10516	0,19012	0,28788	0,39543
1,07	0,03803	0,10593	0,19155	0,29008	0,39851

b	Φ			
	0,6	0,7	0,8	0,9
0,90	0,48681	0,59986	0,71402	0,81000
0,95	0,49635	0,61297	0,73292	0,85300
1,00	0,50462	0,62384	0,74707	0,87289
1,04	0,51051	0,63129	0,75610	0,88313
1,07	0,51455	0,63629	0,76193	0,88899

Вычисление моментов начала и конца частного затмения на Земле вообще. Задача сводится к вычислению моментов и географических координат λ и φ точек земной поверхности, в которых полутень Луны вступает на Землю или сходит с Земли.

Основными уравнениями затмения являются:

$$\left.\begin{aligned} (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 = (u_e - \zeta\,\mathrm{tg}\,f_e)^2 = l_e^2, \\ \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = \rho^2. \end{aligned}\right\} \qquad (1.235)$$

В моменты начала и конца частного затмения на Земле вообще, т. е. в моменты внешнего касания лунной полутенью земного сфероида, $\zeta = 0$ и поэтому

$$\left.\begin{aligned} (x-\xi)^2+(y-\eta)^2=u_e^2,\\ \xi^2+\eta^2=\rho^2. \end{aligned}\right\} \qquad (1.236)$$

Кроме того,

$$x^2+y^2=(u_e+\rho)^2, \qquad (1.237)$$

так как в эти моменты расстояние между центром Земли (центр бесселевых прямоугольных координат) и точкой пересечения оси лунной полутени с основной плоскостью xy равно $u_e+\rho$.

Из таблицы бесселевых элементов затмения выписываем на исходный момент T_u (близкий к моменту начала затмения $T_н$) координаты Луны x_u, y_u, их минутные изменения x', y' и радиус конуса лунной полутени u_e.

Полагая

$$T_н = T_u + t, \qquad (1.238)$$

получим на момент $T_н$

$$x = x_u + x't, \quad y = y_u + y't, \qquad (1.239)$$

откуда согласно (1.237)

$$(x_u + x't)^2 + (y_u + y't)^2 = (u_e+\rho)^2. \qquad (1.240)$$

При $\zeta = 0$ поправка за рефракцию $\Delta\rho = 0{,}00028$ (см. с. 118).

Считая в первом приближении $\rho = 1{,}00028$, можем найти t по формуле

$$t = \frac{-(x_u x' + y_u y') \pm \sqrt{(x_u x' + y_u y')^2 - (x'^2+y'^2)\left[x_u^2+y_u^2-(u_e+\rho)^2\right]}}{x'^2+y'^2}, \qquad (1.241)$$

либо тригонометрическим путем, для чего положим

$$\left.\begin{aligned} x_u = a\sin A, \quad y_u = a\cos A,\\ x' = b\sin B, \quad y' = b\cos B, \end{aligned}\right\} \qquad (1.242)$$

причем $a > 0$ и $b > 0$.

Отсюда находим:

$$\left.\begin{aligned} a = +\sqrt{x_u^2+y_u^2}, \quad \operatorname{tg} A = \frac{x_u}{y_u},\\ b = +\sqrt{x'^2+y'^2}, \quad \operatorname{tg} B = \frac{x'}{y'}; \end{aligned}\right\} \qquad (1.243)$$

здесь A и B определяются однозначно по знакам x_u, y_u, x' и y'.

Далее ищем промежуточный аргумент ω_1,

$$\sin\omega_1 = \frac{a}{u_e + \rho}\sin(A - B), \tag{1.244}$$

и интервал времени в минутах

$$t = -\frac{a\sin[\omega_1 - (A - B)]}{b\sin\omega_1}. \tag{1.245}$$

Аргумент ω_1 и интервал t имеют два значения, одно из которых ($\omega_н$, $t_н$) соответствует началу, а другое ($\omega_к$, $t_к$) — концу затмения. Первые приближения моментов начала ($T_н$) и конца ($T_к$) частного затмения на Земле получим так:

$$T_н = T_0 + t_н, \quad T_к = T_0 + t_к. \tag{1.246}$$

Линейной интерполяцией бесселевых элементов находим на вычисленные моменты $T_н$ и $T_к$ значения x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, u_e и μ. Полагая снова $\rho = 1{,}00028$, найдем бесселевы координаты точек земной поверхности

$$\xi = \rho\frac{x}{u_e + \rho} \quad и \quad \eta = \rho\frac{y}{u_e + \rho}, \tag{1.247}$$

часовой угол μ_λ точки Z в искомом пункте земной поверхности по формуле

$$\operatorname{ctg}\mu_\lambda = -\frac{\eta}{\xi}\sin d, \tag{1.248}$$

и геоцентрическую широту φ' искомого пункта по

$$\operatorname{tg}\varphi' = \frac{\eta}{\xi}\sin\mu_\lambda\cos d. \tag{1.249}$$

Для начала затмения $180° < \mu_\lambda < 360°$; для конца затмения $0° < \mu_\lambda < 180°$.

Найдя значение $\sin\varphi'$, вычислим радиус ρ Земли в данном пункте (ξ, η, $\zeta = 0$):

$$\rho = 1 - 0{,}003369\cdot\sin^2\varphi'. \tag{1.250}$$

С этим значением ρ (с учетом $\Delta\rho$) вычисляем в отдельности второе приближение моментов начала и конца затмения ($T'_н$ и $T'_к$). Для этого за исходный момент T_0 принимаем поочередно вычисленные значения $T_н$ и $T_к$, а x и y на эти моменты принимаем за x_0 и y_0. По формулам (1.241)—(1.246) повторяем вычисления заново и находим второе приближение моментов начала $T'_н$ и конца $T'_к$ затмения.

Если исходный момент T_0 близок к $T_н$, то второго приближения $T'_н$ и $T'_к$ бывает вполне достаточно и они могут быть приняты за моменты начала и конца затмения на Земле вообще. Разница $T_н - T'_н$ и $T_к - T'_к$ не должна превышать 0,1 минуты. При большей разнице необходимо вычисление третьего приближения $T''_н$ и $T''_к$ по $T'_н$ и $T'_к$, для чего по формулам (1.247)—(1.250) следует вычислить новые значения φ' и ρ.

На принятые окончательные значения моментов начала $T_н$ и конца $T_к$ затмения находят линейной интерполяцией бесселевы элементы x, y, $\sin d$, $\cos d$, u_e и μ и, с уточненным значением ρ, вычисляют по (1.248)—(1.249) μ_λ и $\operatorname{tg}\varphi'$, а по ним — географические координаты λ и φ пунктов вступления на Землю и схода с Земли лунной полутени:

$$\lambda = \mu_\lambda - \mu, \quad \operatorname{tg}\varphi = 1{,}00675\cdot\operatorname{tg}\varphi'. \tag{1.251}$$

Вычисление изохрон. Решение этой задачи сводится к вычислению географических координат λ и φ тех точек земной поверхности, в которых начало или конец частного затмения происходит в один и тот же момент по всемирному (среднему гринвичскому) или эфемеридному времени. Задаемся определенным моментом времени T, для него выписываем из таблицы бесселевых элементов величины x, y, $\sin d$, $\cos d$, u_e, μ и $\operatorname{tg} f_e$.

Далее, по уравнениям (1.235)

$$(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 = (u_e - \zeta\operatorname{tg} f_e)^2 = l_e^2,$$
$$\xi^2 + \eta^2 = \rho^2 - \zeta^2 = q^2$$

вычисляем ξ и η, а по ним λ и φ.

Для этого положим

$$\left.\begin{aligned} x &= m\sin M, & y &= m\cos M,\\ \xi &= q\sin N, & \eta &= q\cos N,\end{aligned}\right\} \tag{1.252}$$

причем $m > 0$, $q > 0$.

По известным для момента T значениям x и y находим

$$m = +\sqrt{x^2+y^2} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} M = \frac{x}{y}, \tag{1.253}$$

откуда однозначно определяем M по знакам x и y.

Задаваясь последовательными значениями ζ через каждые 0,1 (например, $\zeta = 0{,}0$; $0{,}1$; $0{,}2$ и т. д.) и полагая в первом приближении $\rho = 1$, находим из уравнений (1.235) значения q^2 и $q > 0$ для различных ζ. Для тех же значений вычисляем $l_e^2 = (u_e - \zeta\operatorname{tg} f_e)^2$, после чего находим

$$\cos(M-N) = \frac{m^2+q^2-l_e^2}{2\cdot mq}, \tag{1.254}$$

дающий два значения $(M - N)$, а следовательно, два значения N, так как M имеет только одно значение:

$$N = M - (M - N). \tag{1.255}$$

Зная N и q, по формулам (1.252) находим бесселевы координаты ξ и η двух точек земной поверхности, соответствующих углам N и принадлежащих: одна — изохроне начала, а другая — изохроне конца частного затмения.

Далее, по формулам

$$\operatorname{ctg}\mu_\lambda = \frac{\zeta\cos d - \eta\sin d}{\xi}$$

и

$$\operatorname{tg}\varphi' = \frac{\sin\mu_\lambda}{\xi}(\zeta\sin d + \eta\cos d) \qquad (1.256)$$

вычисляем μ_λ и φ', находим $\sin^2\varphi'$ и по (1.250) определяем $\rho = 1 - 0{,}003369\cdot\sin^2\varphi'$.

С полученным значением ρ повторяем все вычисления сначала и по найденным μ_λ и $\operatorname{tg}\varphi'$ находим $\lambda = \mu_\lambda - \mu$ и φ из

$$\operatorname{tg}\varphi = 1{,}00675\cdot\operatorname{tg}\varphi'. \qquad (1.251)$$

Вычисления для разных моментов T дадут пары других точек, по которым строятся изохроны. Восточные стороны изохрон относятся к началу частного затмения, а западные — к его концу. На восточную и западную стороны изохроны делятся своими точками прикосновения к северной и южной границам затмения, или к одной из границ, если вторая является мнимой (отсутствует).

Изохроны, вычисленные для $\zeta = 0{,}0$, являются границами начала и конца затмения при восходе и заходе Солнца. Следует помнить, что при $\zeta = 0{,}0$ значение ρ должно быть увеличено на 0,00028 и в формулы с самого начала подставляется $\rho = 1{,}00028$.

В ы ч и с л е н и е и з о ф а з. Вычисление изофаз следует начинать с больших фаз частного затмения и постепенно переходить к меньшим фазам. Можно рекомендовать сначала вычислять изофазы через интервалы фазы $\Delta\Phi = 0{,}1$, т. е. для $\Phi_m = 0{,}9$; 0,8; 0,7 и т. д., а затем, в случае необходимости, и для промежуточных значений Φ_m.

Задаемся определенной фазой Φ_m и определенным моментом времени T, для которого выписываем из таблицы бесселевых элементов x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, u_e, μ и $\operatorname{tg} f_e$.

Для вычислений имеем соотношения:

$$l_e = u_e - \zeta\operatorname{tg} f_e; \qquad (1.211)$$

$$m = l_e(1 - 2\Phi_m) + 0{,}5464\cdot\Phi_m; \qquad (1.228)$$

$$x - \xi = m\sin M, \quad y - \eta = m\cos M; \qquad (1.214)$$

$$\operatorname{tg} M = \frac{x-\xi}{y-\eta}, \quad \operatorname{tg} N = \frac{x'-\xi'}{y'-\eta'} \qquad (1.215)$$

и

$$\zeta^2 = \rho^2 - \xi^2 - \eta^2. \qquad (1.235)$$

По условию наибольшей фазы $\operatorname{tg} M = -\operatorname{ctg} N$, поэтому из (1.215) имеем

$$\operatorname{tg} M = \frac{x-\xi}{y-\eta} = -\frac{y'-\eta'}{x'-\xi'}.$$

Полагая в первом приближении $\zeta = 0$, $\xi' = 0$ и $\eta' = 0$, находим по формуле (1.211) $l_e = u_e$, по формуле (1.228)

$m = u_e\ (1 - 2\,\Phi_m) + 0{,}5464\,\Phi_m$ и по формуле (1.215) $\operatorname{tg} M = -\frac{y'}{x'}$.
Получаем два значения M, одно из которых соответствует точке земной поверхности к югу от линии центрального затмения, а другое — к северу от нее.

Далее, по формуле (1.214) вычисляем ξ и η для двух значений M и, полагая $\rho = 1$, находим по формуле (1.235) величину ζ, после чего определяем ξ' и η':

$$\left.\begin{aligned} \xi' &= 0{,}004364\cdot(\zeta\cos d - \eta\sin d), \\ \eta' &= 0{,}004364\cdot\xi\sin d. \end{aligned}\right\} \qquad (1.257)$$

С полученными значениями ζ, ξ' и η' снова вычисляем по формулам (1.211), (1.228) и (1.215) l_e, m и два значения M и затем по формулам (1.214) и (1.235) — новые, уточненные значения ξ, η и ζ.

По уточненным значениям ξ, η и ζ определяем из формул (1.256) часовой угол μ_λ и геоцентрическую широту φ', по которой вычисляем уточненное значение ρ [формула (1.250)].

С уточненными значениями ρ, ζ, ξ' и η' повторяем все вычисления заново до тех пор, пока не будут получаться одинаковые значения M (различные для точек к северу и к югу от центральной линии затмения), которые принимаются за окончательные. По этим значениям M находим окончательные значения ξ, η, ζ, μ_λ и φ', по которым вычисляются λ и φ точек данной изофазы [формулы (1 256) и (1.251)].

Нужно иметь в виду, что некоторые точки окажутся мнимыми и их следует отбросить. Отбор точек изофазы может быть проведен по характеру положения изофазы на карте затмения.

Если в тех же формулах положить $m = l_i$, то будут вычислены λ и φ границ полного или кольцеобразного затмения.

Северная и южная границы затмения. Северная и южная границы затмения представляют собой геометрическое место точек соединения (стыка) изохрон начала и конца затмения, относящихся к одному и тому же моменту. Поэтому, если на карту нанесены изохроны начала и конца, то, соединяя плавной кривой их точки стыка, можно получить на карте северную и южную границы затмения, так как географические координаты λ и φ, общие для изохрон начала и конца частного затмения, относящихся к одному моменту времени, будут одновременно координатами λ и φ северной и южной границ затмения. Поэтому вычислять λ и φ для обеих границ отдельно нет необходимости, хотя это вполне возможно осуществить, если в формуле (1.228) положить $\Phi_m = 0$, т. е. $m = l_e$. В этом случае вычисления дадут λ и φ точек северной и южной границ частного затмения, одна из которых может оказаться мнимой (затмение второго рода).

Вычисление изогон. Изогоны начала и конца затмения могут быть вычислены попутно с вычислением изохрон из условий

$$\left.\begin{aligned} x-\xi &= l_e\cdot\sin P, \\ y-\eta &= l_e\cdot\cos P, \end{aligned}\right\} \qquad (1.258)$$

где P — позиционный угол, который в момент начала затмения $P \geqslant 180°$, а в момент конца $P < 180°$. Следовательно, поскольку на определенные моменты T при вычислении изохрон известны x, y, ξ, η и l_e, можно для вычисленных λ и φ определить P. Соединяя на карте точки с одинаковыми P при начале (или конце) частного затмения, получим изогоны начала (или конца) частного затмения.

Изогоны углов положения P_z получаются аналогично, если соединять на карте точки с одинаковыми $P_z = P - \gamma$.

В северных широтах, при $\varphi \geqslant 23° 26'$, всегда $\gamma < 90°$.

Можно независимо определить λ и φ точек изогон для определенного момента времени T по бесселевым элементам x, y, $\cos d$, $\sin d$, u_e, μ и $\operatorname{tg} f_e$.

Для этого задаются определенным углом P и, полагая в первом приближении $l_e = u_e$ и $\rho = 1$, из условий (1.258) находят

$$\left.\begin{aligned} \xi &= x - u_e\sin P, \\ \eta &= y - u_e\cos P \end{aligned}\right\}$$

и ζ, определяемую через $\zeta^2 = \rho^2 - \xi^2 - \eta^2$.

Далее, по формулам (1.211), (1.256) и (1.250) находят l_e, μ_λ, $\operatorname{tg}\varphi'$ и уточненное значение ρ. С полученными ρ и l_e снова вычисляют ξ, η и ζ и повторяют вычисление μ_λ и $\operatorname{tg}\varphi'$, по которым уже определяют λ и φ.

Если есть необходимость вычислить λ и φ для заданных значений угла положения от зенита P_z, то на определенный момент времени T находят

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{ctg}\vartheta &= \frac{y}{x} \\ \text{и} \qquad & \\ \sin(\vartheta-\gamma) &= \frac{l_e \sin P_z \sin\vartheta}{x}. \end{aligned}\right\} \qquad (1.259)$$

Вычислив отсюда γ, получают $P = P_z + \gamma$ и тем самым сводят задачу к предыдущему случаю определения λ и φ по P.

Положение линии центрального затмения. Географические координаты λ и φ точек земной поверхности, находящихся на линии центрального затмения (т. е. в середине полосы полного или кольцеобразного затмения), могут быть определены из условия $m = 0$, т. е. $(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 = 0$, что возможно лишь при

$$\xi = x \quad \text{и} \quad \eta = y. \qquad (1.260)$$

Следовательно, беря для определенного момента времени T бесселевы элементы x, y, $\sin d$, $\cos d$, μ и полагая сначала $\rho = 1$, находят

$$\zeta^2 = \rho^2 - x^2 - y^2 \tag{1.261}$$

и затем

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{ctg}\mu_\lambda &= \frac{\zeta\cos d - y\sin d}{x}, \\ \operatorname{tg}\varphi' &= \frac{\sin\mu_\lambda}{x}(\zeta\sin d + y\cos d). \end{aligned}\right\} \tag{1.262}$$

Далее, по формуле (1.250) находят ρ, по формуле (1.261) уточняют значение ζ и снова вычисляют μ_λ и $\operatorname{tg}\varphi'$, по которым определяются λ и φ [формула (1.251)].

Вычисление солнечных затмений по дифференциальным поправкам. Обстоятельства затмения в каком-либо произвольном пункте F с географическими координатами λ, φ могут быть вычислены по известным обстоятельствам затмения близлежащего пункта F_1 с географическими координатами λ_1, φ_1, что особенно удобно в экспедиционных условиях.

Пусть известны обстоятельства затмения в пункте F_1 (λ_1, φ_1), геоцентрические координаты которого суть ρ_1 и φ_1'. Обозначим через T_1 момент начала частного затмения в пункте F_1 (λ_1, φ_1), и пусть для этого момента бесселевы координаты этого пункта будут ξ_1, η_1, ζ_1, минутные изменения ξ_1' и η_1', часовой угол точки Z в этом пункте μ_{λ_1} и бесселевы элементы x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, μ. Очевидно, что

$$\mu_{\lambda_1} = \mu + \lambda_1. \tag{1.251}$$

Образуем разности:

$$\left.\begin{aligned} a &= x' - \xi_1', \quad & b &= y' - \eta_1', \\ X &= x - \xi_1, \quad & Y &= y - \eta_1. \end{aligned}\right\} \tag{1.263}$$

По этим разностям вычислим коэффициенты:

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{Y\rho_1\cos\varphi_1'\cos d + Y\rho_1\sin\varphi_1'\sin d\cos\mu_{\lambda_1} - X\rho_1\sin\varphi_1'\sin\mu_{\lambda_1}}{aX + bY}, \\ B &= \frac{X\rho_1\cos\varphi_1'\cos\mu_{\lambda_1} + Y\rho_1\cos\varphi_1'\sin d\sin\mu_{\lambda_1}}{aX + bY}. \end{aligned}\right\} \tag{1.264}$$

Найдем разности географических координат двух пунктов: $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_1$ и $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1$, причем λ и λ_1 отсчитываются в одну сторону — к востоку. Тогда поправка времени Δt на начало частного затмения в пункте F (λ, φ) будет

$$\Delta t = A\cdot\Delta\varphi + B\cdot\Delta\lambda, \tag{1.265}$$

где $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражены в радианах, а Δt — в часах среднего времени.

Поскольку удобнее $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражать в минутах или секундах дуги, а Δt — в минутах или секундах времени, необходимо в формулу (1.265) ввести переводной коэффициент β, зависящий от принятых единиц измерения. Если требуется найти Δt в минутах времени, то при $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$, заданных в минутах дуги ($'$), $\beta = 0{,}017453$, а при $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$, выраженных в секундах дуги ($''$), $\beta = 0{,}000291$. Если же необходимо знать Δt в секундах времени, то в первом варианте $\beta = 1{,}047196$, а во втором $\beta = 0{,}017453$. Тогда

$$\Delta t = \beta (A\,\Delta\varphi + B\,\Delta\lambda) \qquad (1.265')$$

и момент начала частного затмения в пункте $F(\lambda, \varphi)$

$$T = T_1 + \Delta t. \qquad (1.266)$$

Для определения позиционного угла P начала затмения в пункте $F(\lambda, \varphi)$ находят поправки Δ_x и Δ_y:

$$\left.\begin{aligned} \Delta_x &= w(\rho_1 \sin\varphi_1' \sin\mu_{\lambda_1}\,\Delta\varphi - \rho_1\cos\varphi_1'\cos\mu_{\lambda_1}\,\Delta\lambda),\\ \Delta_y &= -w(\rho_1\cos\varphi_1'\cos d\,\Delta\varphi + \rho_1\sin\varphi_1'\sin d\cos\mu_{\lambda_1}\,\Delta\varphi +\\ &\qquad + \rho_1\cos\varphi_1'\sin d\sin\mu_{\lambda_1}\,\Delta\lambda). \end{aligned}\right\} \qquad (1.267)$$

Здесь w — коэффициент, зависящий от единиц измерения $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$; если $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражены в минутах дуги ($'$), то $w = 290{,}89\cdot 10^{-6}$; если же $\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ выражены в секундах дуги ($''$), то $w = 4{,}848\cdot 10^{-6}$.

Тогда поправка ΔP к позиционному углу P_1 (известному для пункта с λ_1 и φ_1) будет

$$\Delta P = \frac{\cos^2 P_1}{Y^2}(Y\Delta_x - X\Delta_y), \qquad (1.268)$$

откуда искомый позиционный угол

$$P = P_1 + \Delta P. \qquad (1.269)$$

Взяв для пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$ значения ξ_1, η_1, ζ_1, ξ_1', η_1', μ_{λ_1}, x, y, x', y', $\sin d$, $\cos d$, μ на момент конца частного затмения (или на другие моменты, в частности на момент наибольшей фазы), вычисляют по тем же формулам соответствующие моменты и позиционные углы в пункте $F(\lambda, \varphi)$. Таким образом, вычисления, по существу, сводятся к отысканию коэффициентов A и B на определенные моменты времени. Они легко могут быть найдены, если по независимым вычислениям известны обстоятельства затмения еще в каких-либо двух пунктах: $F_2(\lambda_2, \varphi_2)$ и $F_3(\lambda_3, \varphi_3)$.

Беря на какой-нибудь момент затмения (например, на начало) разности во времени наступления этого момента для пунктов $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$, $F_2(\lambda_2, \varphi_2)$ и $F_3(\lambda_3, \varphi_3)$, получим

$$\left.\begin{aligned} \Delta t_2 &= T_{\lambda_2} - T_{\lambda_1} = A\,\Delta\varphi_2 + B\,\Delta\lambda_2,\\ \Delta t_3 &= T_{\lambda_3} - T_{\lambda_1} = A\,\Delta\varphi_3 + B\,\Delta\lambda_3, \end{aligned}\right\} \qquad (1.270)$$

откуда, решая эти уравнения, находим A и B:

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{\Delta t_2\,\Delta\lambda_3 - \Delta t_3\,\Delta\lambda_2}{\Delta\varphi_2\,\Delta\lambda_3 - \Delta\varphi_3\,\Delta\lambda_2}\cdot\frac{1}{\beta},\\ B &= \frac{\Delta t_2\,\Delta\varphi_3 - \Delta t_3\,\Delta\varphi_2}{\Delta\varphi_3\,\Delta\lambda_2 - \Delta\varphi_2\,\Delta\lambda_3}\cdot\frac{1}{\beta}, \end{aligned}\right\} \qquad (1.271)$$

где β — коэффициент, зависящий от единиц измерения.

По λ_1 и φ_1 исходного пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$ можно вычислить точки изохрон, если для определенной разности Δt задаваться значениями λ и по ним определять φ. Тогда

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta t - \beta B\,\Delta\lambda}{\beta A} \quad \text{и} \quad \varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi. \qquad (1.272)$$

Аналогично для получения изофаз и изогон находят для соответствующих моментов времени значения A и B и вычисляют λ и φ по поправкам $\Delta\Phi$ и ΔP относительно Φ_1 и P_1 исходного пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$.

Для изофаз, задаваясь $\Delta\Phi$ и λ, получим

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta\Phi - wB\,\Delta\lambda}{wA}, \quad \varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi. \qquad (1.273)$$

Для изогон, задаваясь ΔP и λ, получим

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_1, \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta P - wB\,\Delta\lambda}{wA}, \quad \varphi = \varphi_1 + \Delta\varphi. \qquad (1.274)$$

Наиболее точными вычисления будут в том случае, если они проведены относительно исходного пункта $F_1(\lambda_1, \varphi_1)$, находящегося на линии центрального затмения. Тогда точность вычислений сохраняет силу на расстояния до 1000 км в обе стороны от линии центрального затмения.

Для любого пункта U, находящегося в полосе полного (кольцеобразного) затмения, можно дифференциальным методом определить продолжительность τ полного (кольцеобразного) затмения и позиционные углы второго (P_2) и третьего (P_3) контактов, если известно расстояние m этого пункта от линии центрального затмения. К северу от этой линии m считается положительным ($m > 0$), а к югу — отрицательным ($m < 0$). Пусть ширина полосы полного солнечного затмения (полосы главной фазы) есть D, а некоторый пункт K лежит на линии центрального затмения в той ее точке, от которой измеряется расстояние m пункта U от линии центрального затмения (направление $m = KU$ перпендикулярно к линии центрального затмения). Пусть, далее, в пункте K продолжительность полной фазы равняется τ_0, а угол между осью y и линией центрального затмения есть N (угол N получается в процессе вычисления обстоятельств затмения в пункте K). Тогда из условия $\sin\vartheta = \frac{2m}{D}$ определяется угол ϑ и затем

$$\tau = \tau_0\cos\vartheta, \quad P_2 = N - \vartheta \quad \text{и} \quad P_3 = N + \vartheta \pm 180°. \qquad (1.275)$$

Угол ϑ лежит в пределах $0° < \vartheta < 180°$, причем знак $\sin\vartheta$ определяется знаком m. Потеря продолжительности $\Delta\tau$ полной фазы в пункте U, обусловленная его удаленностью от линии центрального затмения,

$$\Delta\tau = \frac{2m^2}{D^2}\tau_0. \tag{1.276}$$

§ 22. Предвычисление покрытий звезд Луной

Явление покрытия звезд Луной аналогично солнечным затмениям и поэтому может быть вычислено по тем же формулам, что и солнечные затмения, с той лишь разницей, что видимый радиус, суточный параллакс и суточное смещение покрываемого светила — звезды равны нулю. Эти обстоятельства вносят большие упрощения в способы вычислений покрытий звезд Луной. Покрытие звезды Луной происходит вблизи геоцентрического соединения этих светил по прямому восхождению. Момент начала покрытия предшествует моменту T_0 геоцентрического соединения, а момент конца покрытия наступает после T_0.

Введем следующие обозначения:

Для Луны:

$\alpha_☾$ — геоцентрическое прямое восхождение,
$\Delta\alpha_☾$ — часовое изменение прямого восхождения,
$\Delta\alpha'_☾$ — часовое перемещение Луны по небесной параллели,
$\delta_☾$ — геоцентрическое склонение,
$\Delta\delta_☾$ — часовое изменение склонения,
$\Delta\delta$ — разность склонений Луны и звезды,
$p_☾$ — горизонтальный экваториальный параллакс Луны,
$r_☾$ — видимый геоцентрический радиус лунного диска,
x, y — координаты в бесселевой системе,
x', y' — часовые изменения координат x и y,
$P_н$ — позиционный угол начала покрытия,
$P_к$ —позиционный угол конца покрытия,
$P_{zн}$ — угол положения от зенита при начале покрытия,
$P_{zк}$ — угол положения от зенита при конце покрытия.

Для звезды:

α — прямое восхождение,
δ — склонение,
μ — часовой угол в месте наблюдения.

Пункт наблюдения:

λ — географическая долгота,
φ — географическая широта,
φ' — геоцентрическая широта,
ρ — геоцентрический радиус-вектор (радиус Земли в пункте наблюдения),
n — часовой пояс,
ξ, η — бесселевы координаты,
ξ', η' — часовые изменения бесселевых координат.

М о м е н т ы   в р е м е н и:

T_0 — момент геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению,

T_u — исходный момент для вычислений, выбираемый вблизи середины покрытия,

$T_н$ — момент начала покрытия,

$T_к$ — момент конца покрытия,

T — произвольный момент времени,

S — звездное время на гринвичском меридиане в произвольный момент,

S_0 — звездное время на гринвичском меридиане в момент T_0.

Все вычисления проводятся в системе всемирного (гринвичского) времени, а затем, в случае необходимости, переводятся в систему среднего, поясного или декретного времени.

Элементами покрытия называются следующие пять величин: T_0, μ, $\Delta\alpha'_☾$, $\Delta\delta_☾$ и $\Delta\delta$ на момент T_0.

В дальнейшем предполагается, что все экваториальные координаты отнесены к одной и той же эпохе.

Прежде всего необходимо провести отбор звезд, которые могут быть покрыты Луной. Аналитически это определяется для момента геоцентрического соединения T_0 (когда $\alpha_☾ = \alpha$) из неравенства

$$|\Delta\delta| = |\delta_☾ - \delta| < 1{,}2726 p_☾ \sec i' \cos \delta_☾, \qquad (1.277)$$

где i' — наклонение лунной орбиты к небесному экватору, меняющееся в зависимости от положения лунных узлов на эклиптике. Поэтому, взяв из Астрономического Ежегодника СССР значения экваториальных координат Луны $\alpha_☾$ и $\delta_☾$ в течение месяца, можно для каждого значения $\alpha_☾$ и $\delta_☾$ вычислить величину $1{,}2726 p_☾ \sec i' \cos \delta_☾$ и из условия формулы (1.277) получить предельные значения δ звезд, которые могут быть покрыты Луной в данном месяце. Очевидно, границы, в пределах которых при данном $\delta_☾$ возможно покрытие, определяются как

$$\delta = \delta_☾ \pm \Delta\delta. \qquad (1.278)$$

Затем по звездным каталогам (например, по каталогу зодиакальных звезд *)) отыскиваются звезды, экваториальные координаты которых, исправленные за прецессию, лежат в пределах полученных значений δ при данном α. Лучше воспользоваться списком звезд, публикуемым в Астрономическом Ежегоднике СССР, так как их координаты даются на текущую эпоху.

Отбор покрываемых звезд может быть произведен графическим способом, сущность которого состоит в том, что на звездную карту наносят видимый геоцентрический путь Луны (по ее координатам $\alpha_☾$ и $\delta_☾$) и по обе стороны от него проводят кривые, отстоящие от геоцентрического пути Луны на расстоянии $\Delta = 1{,}27 \cdot p_☾$. Звезды, находящиеся в пределах полученного пояса,

---

*) Catalog of 3539 Zodiacal Stars for the Equinox 1950.0 by James Robertson.

обязательно покрываются Луной, но, разумеется, их покрытие видно не из всех мест Земли. Чтобы отобрать звезды, покрытие которых может наблюдаться из данного пункта, с географическими координатами λ и φ, нужно на звездной карте нанести топоцентрический (т. е. видимый из данного места) путь Луны на фоне звезд. Этот путь получается смещением геоцентрического пути Луны к югу (в пределах СССР) на величину параллакса Луны по склонению (p_δ) и к востоку или к западу на величину параллакса по прямому восхождению (p_α). Способ построения топоцентрического лунного пути объяснен ниже (см. 141) при изложении полуграфического метода предвычисления покрытий звезд Луной.

Предвычисление покрытий звезд Луной состоит в определении моментов $T_н$ и $T_к$ и углов положений $P_н$ и $P_к$ начала и конца покрытия звезды, называемых также *исчезновением* и *появлением* звезды.

Существуют аналитические, графические и смешанные (полуграфические) способы предвычисления покрытий звезд Луной. К аналитическим относится также дифференциальный метод, позволяющий вычислить условия покрытия звезды в данном пункте земной поверхности по известным условиям покрытия той же звезды в других пунктах наблюдений.

Во всех этих способах нужно прежде всего найти момент геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению. Зная α звезды, нужно по Астрономическому Ежегоднику найти моменты времени T_1 и T_2, в которые $\alpha_☾$ близко к α, но в момент T_1 $\alpha_☾ < \alpha$, а в момент T_2 $\alpha_☾ > \alpha$. Очевидно, в этом случае $T_1 < T_0 < T_2$, так как при T_0 должно быть $\alpha_☾ = \alpha$.

Определение T_0 значительно облегчается тем, что теперь в Астрономическом Ежегоднике СССР приводятся значения $\alpha_☾$, $\Delta\alpha_☾$, $\delta_☾$ и $\Delta\delta_☾$ на каждый час.

Пусть в момент T_1 координаты Луны будут $\alpha_{☾1}$, $\delta_{☾1}$, а в момент T_2 координаты будут $\alpha_{☾2}$, $\delta_{☾2}$.

Тогда, зная, что в момент T_0 $\alpha_☾ = \alpha$, имеем

$$\left.\begin{aligned} T_1 = T_0 - \Delta t_1, \quad \alpha_{☾1} = \alpha - \Delta\alpha_☾ \Delta t_1, \quad \delta_{☾1} = \delta_☾ - \Delta\delta_☾ \Delta t_1, \\ T_2 = T_0 + \Delta t_2, \quad \alpha_{☾2} = \alpha + \Delta\alpha_☾ \Delta t_2, \quad \delta_{☾2} = \delta_☾ + \Delta\delta_☾ \Delta t_2, \end{aligned}\right\} \quad (1.279)$$

где $\delta_☾$ — склонение Луны для момента T_0.

Отсюда находим в долях часа либо

$$\Delta t_1 = \frac{\alpha - \alpha_{☾1}}{\Delta\alpha_☾}, \quad \text{либо } \Delta t_2 = \frac{\alpha_{☾2} - \alpha}{\Delta\alpha_☾}, \quad (1.280)$$

смотря по тому, какое значение прямого восхождения Луны лежит ближе к α. Значения Δt_1 и Δt_2 в минутах получатся по формулам

$$\Delta t_1 = 60 \cdot \frac{\alpha - \alpha_{☾1}}{\Delta\alpha_☾} \quad \text{и} \quad \Delta t_2 = 60 \cdot \frac{\alpha_{☾2} - \alpha}{\Delta\alpha_☾}. \quad (1.281)$$

Из формул (1.279) вычисляем T_0 и $\delta_{☾}$.

Дальнейший ход вычислений зависит от принятого способа.

Аналитический способ Бесселя. Вследствие того, что суточный параллакс звезд равен нулю, прямоугольные бесселевы координаты Луны будут:

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\cos\delta_{☾}\sin(\alpha_{☾}-\alpha)}{\sin p_{☾}}, \\ y &= \frac{\sin\delta_{☾}\cos\delta - \cos\delta_{☾}\sin\delta\cos(\alpha_{☾}-\alpha)}{\sin p_{☾}} \end{aligned}\right\} \quad (1.282)$$

или, принимая во внимание близкие друг к другу значения α и $\alpha_{☾}$ вблизи геоцентрического соединения Луны со звездой, получим

$$x = \frac{\alpha_{☾}-\alpha}{p_{☾}}\cdot\cos\delta_{☾}, \quad y = \frac{\sin(\delta_{☾}-\delta)}{\sin p_{☾}},$$

или, приближенно,

$$y = \frac{\delta_{☾}-\delta}{p_{☾}}, \quad (1.283)$$

где $\alpha_{☾}-\alpha$, $\delta_{☾}-\delta$ и $p_{☾}$ выражаются в одних и тех же единицах — минутах или секундах дуги.

Часовые изменения x' и y' прямоугольных координат x и y Луны определяются формулами

$$x' = \frac{\Delta\alpha_{☾}}{p_{☾}}\cos\delta_{☾}, \quad y' = \frac{\Delta\delta_{☾}}{p_{☾}}. \quad (1.284)$$

Тогда, приняв за исходный момент времени момент $T_{\text{ц}}$, близкий к T_0, получим для любого момента времени T

$$x = x_{\text{ц}} + x't, \quad y = y_{\text{ц}} + y't, \quad (1.285)$$

где $x_{\text{ц}}$ и $y_{\text{ц}}$ относятся к исходному моменту $T_{\text{ц}}$ и определяются формулами (1.283) на момент $T_{\text{ц}}$, а $t = T - T_{\text{ц}}$.

Знак $y_{\text{ц}}$ зависит от положения Луны относительно покрываемой звезды. При $\Delta\delta > 0$ (или $\delta_{☾} > \delta$) центр лунного диска расположен севернее звезды и $y_{\text{ц}} > 0$; при $\Delta\delta < 0$ (или $\delta_{☾} < \delta$) центр лунного диска расположен южнее звезды и $y_{\text{ц}} < 0$. Величина x' всегда положительна и близка к $+0{,}55$; y' имеет знак $\Delta\delta_{☾}$ и по абсолютной величине не превосходит 0,3. Попутно отметим, что $\Delta\delta < 0$ возможно только при $\varphi < +43°$ и поэтому, в пределах СССР, как правило, $\Delta\delta > 0$, и лишь в очень редких случаях, и то в самых южных районах СССР, бывает $\Delta\delta < 0$.

Если за исходный момент взять T_0, т. е. положить $T_{\text{ц}} = T_0$, то формулы (1.283) и (1.285) упрощаются, так как в этом случае $\alpha_{☾} = \alpha$ и $x_{\text{ц}} = 0$.

Однако брать T_0 за исходный момент не рекомендуется, поскольку, как правило, он расположен асимметрично по отноше-

нию к моментам начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия, что вносит дополнительные неточности в вычисления и заставляет в обязательном порядке их повторять (находить второе приближение $T_н$ и $T_к$). Повторение вычислений зачастую является излишним при правильном выборе исходного момента $T_ц$, близкого к середине покрытия. Этот выбор весьма легко может быть осуществлен по табл. V, заимствованной из книги акад. А. А. Михайлова «Теория затмений». Табл. V составлена для географических широт

Таблица V

μ	φ														
	36°	38°	40°	42°	44°	46°	48°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	65°	70°
$\pm 0^h\ 0^m$	$\pm 0^m$	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m	0^m
20	7	7	7	7	7	6	6	6	6	5	5	5	5	4	3
40	15	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	8	6
±1 0	22	22	21	20	20	19	18	18	17	16	15	15	14	12	9
20	29	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	15	12
40	36	35	34	33	32	31	30	29	28	26	25	24	23	19	15
±2 0	43	42	41	39	38	37	36	34	33	31	30	28	27	22	18
20	49	48	47	45	44	42	41	39	37	36	34	32	30	26	21
40	55	54	52	51	49	47	46	44	42	40	38	36	34	29	23
±3 0	61	59	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	32	26
20	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	45	43	41	34	28
40	70	68	67	65	62	60	58	56	54	51	49	46	43	37	30
±4 0	74	72	71	68	66	64	61	59	57	54	51	49	46	39	31
20	78	76	74	72	69	67	64	62	59	57	54	51	48	41	33
40	81	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	50	42	34
±5 0	83	81	79	76	74	71	69	66	63	60	57	54	51	43	35
20	85	82	80	78	75	73	70	67	64	61	58	55	52	44	36
40	86	83	81	79	76	73	71	68	65	62	59	56	53	45	36
±6 0	86	84	81	79	76	74	71	68	65	62	59	56	53	45	36
20	86	83	81	79	76	73	71	68	65	62	59	56	53	45	36
40	85	82	80	78	75	73	70	67	64	61	58	55	52	44	36
±7 0	83	81	79	76	74	71	69	66	63	60	57	54	51	43	35
20	81	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	50	42	34
40	78	76	74	72	69	67	64	62	59	57	54	51	48	41	33
±8 0	74	72	71	68	66	64	61	59	57	54	51	49	46	39	31
20	70	68	67	65	62	60	58	56	54	51	49	46	43	37	30
40	66	64	62	60	58	56	54	52	50	48	45	43	41	34	28
±9 0	±61	59	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	32	26

от $\varphi = +36°$ до $\varphi = +70°$ по аргументу часового угла μ звезды в данном пункте наблюдения в момент T_0 геоцентрического соединения Луны со звездой. Поэтому, чтобы пользоваться таблицей, нужно вычислить

$$\mu = S_0 + \lambda - \alpha. \qquad (1.286)$$

По φ и μ в таблице находят поправку $\Delta\tau$, и тогда исходный момент будет

$$T_ц = T_0 + \Delta\tau. \qquad (1.287)$$

Знак поправки $\Delta\tau$ берется по знаку при μ, указывающему положение звезды относительно небесного меридиана: при $\mu > 0$ (звезда находится к западу от меридиана) $\Delta\tau > 0$; при $\mu < 0$ (звезда — к востоку от меридиана) $\Delta\tau < 0$.

Для произвольных моментов времени часовой угол звезды

$$\mu = S + \lambda - \alpha. \tag{1.288}$$

Знание часового угла μ необходимо при вычислении прямоугольных бесселевых координат наблюдателя ξ и η, для определения которых находят φ' и ρ: $\operatorname{tg}\varphi' = 0{,}99330 \cdot \operatorname{tg}\varphi$, $\rho = 1 - 0{,}00339 \cdot \sin^2 \varphi'$.

Тогда координаты наблюдателя

$$\xi = \rho\cos\varphi'\sin\mu, \quad \eta = \rho\sin\varphi'\cos\delta - \rho\cos\varphi'\sin\delta\cos\mu \tag{1.289}$$

и их часовые изменения

$$\xi' = 0{,}262516\rho\cos\varphi'\cos\mu, \quad \eta' = 0{,}262516\rho\cos\varphi'\cos\delta\sin\mu. \tag{1.290}$$

Для любого момента времени

$$T = T_u + t \tag{1.291}$$

основное уравнение цилиндра лунной тени (заменяющего конус лунной тени, поскольку звезда является бесконечно удаленным точечным источником света) будет иметь вид

$$[(x_u + x't) - (\xi_u + \xi't)]^2 + [(y_u + y't) - (\eta_u + \eta't)]^2 = k^2, \tag{1.292}$$

где x_u, y_u, ξ_u и η_u относятся к моменту T_u, а $k = 0{,}2726$ есть линейный радиус Луны (выраженный в экваториальных радиусах Земли ρ_0), увеличенный на 0,00026 (на 0",9) за счет высоты лунных гор.

Положив при $m > 0$ и $n > 0$

$$\left.\begin{aligned} x_u - \xi_u &= m\sin M, & y_u - \eta_u &= m\cos M,\\ x' - \xi' &= n\sin N, & y' - \eta' &= n\cos N, \end{aligned}\right\} \tag{1.293}$$

найдем

$$\left.\begin{gathered} m = +\sqrt{(x_u - \xi_u)^2 + (y_u - \eta_u)^2}, \quad n = +\sqrt{(x' - \xi')^2 + (y' - \eta')^2},\\ \operatorname{tg} M = \frac{x_u - \xi_u}{y_u - \eta_u} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} N = \frac{x' - \xi'}{y' - \eta'}. \end{gathered}\right\} \tag{1.294}$$

Углы M и N определяются однозначно по знакам числителя и знаменателя.

Зная M и N, находим

$$\sin(L - N) = \frac{m}{k}\sin(M - N) \tag{1.295}$$

и отыскиваем два значения $(L - N)$ и два значения $\cos(L - N)$.

Тогда промежуток времени t, выраженный в минутах времени, будет равен

$$t = 60 \left[\frac{k}{n} \cos(L - N) - \frac{m}{n} \cos(M - N) \right], \qquad (1.296)$$

причем для начала покрытия $t_н = t$ при $\cos(L - N) < 0$ и для конца покрытия $t_к = t$ при $\cos(L - N) > 0$.

Моменты начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия определяются соответственно из формул

$$\left. \begin{aligned} T_н &= T_ц + t_н, \\ T_к &= T_ц + t_к. \end{aligned} \right\} \qquad (1.291)$$

По известным $(L - N)$ вычисляем

$$L = (L - N) + N \qquad (1.297)$$

и находим позиционные углы $P_н$ и $P_к$ начала и конца покрытия звезды Луной. Оба угла отсчитываются по диску Луны от ее северной точки, в направлении против часовой стрелки, до звезды и вычисляются по формуле

$$P = L \pm 180°. \qquad (1.298)$$

Для начала покрытия $P_н < 180°$; для конца покрытия $P_к > 180°$.

Углы положения от зенита $P_{zн}$ и $P_{zк}$ в те же моменты начала и конца покрытия вычисляются по формуле

$$P_z = P - \gamma, \qquad (1.299)$$

где γ — параллактический угол, определяемый раздельно на моменты $T_н$ и $T_к$ из равенства

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\xi}{\eta}. \qquad (1.300)$$

Углы $P_{zн}$ и $P_{zк}$ отсчитываются от верхней точки лунного диска (направленной к зениту) аналогично позиционному углу, причем $P_{zн} < 180°$ и $P_{zк} > 180°$.

Если моменты начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия звезды требуется определить с точностью до 1 минуты, то, как правило, достаточно одного решения задачи при условии, что за исходный момент $T_ц$ принимается момент, близкий к середине покрытия в данном месте Земли. При необходимости получения моментов $T_н$ и $T_к$ с большей точностью вычисления повторяют заново, раздельно для начала и конца покрытия, принимая за исходные вычисленные моменты $T_н$ и $T_к$. Тогда получают окончательные значения t и L, по которым находят моменты и позиционные углы начала и конца покрытия, а если это требуется, то и углы положения от зенита. Затем все вычисленные моменты переводятся в систему времени, принятую в месте наблюдения.

Дифференциальный метод. Этот метод позволяет быстро определить с точностью до 1 минуты моменты $T_н$ и $T_к$ в любом пункте наблюдения (λ, φ) по известным моментам $T_{н1}$ и $T_{к1}$ другого пункта (λ_1, φ_1), называемого в этом случае основным. Приемлемые результаты получаются при удалении данного пункта от основного в пределах 350 км.

Момент начала покрытия в данном пункте

$$T_н = T_{н1} - a(\lambda - \lambda_1) + b(\varphi - \varphi_1) + \omega; \qquad (1.301)$$

момент конца покрытия в данном пункте

$$T_к = T_{к1} - a(\lambda - \lambda_1) + b(\varphi - \varphi_1) - \omega, \qquad (1.302)$$

причем λ, φ, λ_1 и φ_1 выражены в градусах, $a(\lambda - \lambda_1)$, $b(\varphi - \varphi_1)$ и $\omega = 0^m{,}075 \cos^2 \varphi_1 (\varphi - \varphi_1)^2$ — в минутах времени.

Значения ω в минутах времени берутся из табл. VI.

Таблица VI

	φ_1						φ_1				
$\varphi - \varphi_1$	30°	40°	50°	60°	70°	$\varphi - \varphi_1$	30°	40°	50°	60°	70°
1°	$0^m{,}1$	$0^m{,}0$	$0^m{,}0$	$0^m{,}0$	$0^m{,}0$	5°	$1^m{,}4$	$1^m{,}1$	$0^m{,}8$	$0^m{,}5$	$0^m{,}2$
2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	6	2,0	1,6	1,1	0,7	0,3
3	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	7	3	2,2	1,5	0,9	0,4
4	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	8	4	3	2,0	1,2	0,6

Значения коэффициентов a и b всегда приводятся в таблице обстоятельств покрытия в основном пункте (λ_1, φ_1).

Более уверенные результаты получаются при использовании обстоятельств покрытия в двух основных пунктах с λ_1, φ_1 и λ_2, φ_2. Тогда в формулах (1.301) и (1.302) коэффициенты a и b имеют значения

$$\left. \begin{aligned} a = a_1 + k(a_2 - a_1), \quad b = b_1 + k(b_2 - b_1), \\ k = \frac{\varphi - \varphi_1}{2(\varphi_2 - \varphi_1)} \end{aligned} \right\} \qquad (1.303)$$

где

(a_1, b_1, λ_1 и φ_1 относятся к ближайшему основному пункту и a_2, b_2, λ_2 и φ_2 — к удаленному основному пункту).

Если $\varphi_2 - \varphi_1 < 1°$, то этим способом пользоваться нельзя. В остальных случаях он дает точность до 1^m в пределах расстояний до 550 км данного пункта от основных.

Формулы дифференциального перехода всегда даются в таблицах покрытий звезд Луной. Но следует иметь в виду, что в некоторых ежегодниках восточная долгота считается отрицательной, а западная — положительной, и тогда это учитывается положительным знаком (+) члена $a(\lambda - \lambda_1)$, в отличие от вышеприведенной формулы (1.301).

Смешанный (полуграфический) способ. Наиболее распространенными графическими способами предвычисления покрытий звезд Луной являются способы, предложенные проф. М. А. Ковальским и Э. Шенбергом. Способ М. А. Ковальского является чисто графическим и предусматривает графическое построение всех элементов покрытия, а также промежуточных величин, требующихся в процессе предвычисления покрытий. Эти построения весьма сложны, кропотливы и требуют выражения разности склонений Луны и звезды и часовых перемещений Луны по склонению и прямому восхождению в долях земного экваториального радиуса. Способ Э. Шенберга принадлежит к полуграфическим, или смешанным, и состоит в графическом построении видимого пути звезды относительно Луны, которая принимается за неподвижную. Некоторые промежуточные величины находятся аналитически. Графическое построение видимого относительного пути звезды заставляет приписывать звезде перемещения, численно равные перемещению Луны, но с обратными знаками. Это обстоятельство часто приводит к ошибкам в построении. Поэтому наиболее легким, быстрым и безошибочным способом графического предвычисления звезд Луной следует считать видоизмененный способ проф. Ковальского, в котором вычерчивается видимый топоцентрический путь Луны относительно неподвижной звезды и графически определяются моменты и позиционные углы начала и конца покрытия. Все элементы покрытия и вспомогательные величины вычисляются аналитически, поскольку их вычисление не представляет трудностей. Положительным в этом полуграфическом способе является замена экваториального радиуса Земли горизонтальным экваториальным параллаксом Луны и все построения делаются в привычной системе экваториальных координат.

По данным Астрономического Ежегодника вычислим, как и прежде (см. с. 135), момент T_0 геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению [формулы (1.279)—(1.281)] и линейной интерполяцией найдем на этот момент видимый геоцентрический радиус Луны $r_☾$, ее горизонтальный экваториальный параллакс $p_☾$, прямое восхождение $\alpha_☾$, склонение $\delta_☾$, часовые изменения ее прямого восхождения $\Delta\alpha_☾$ и склонения $\Delta\delta_☾$. Экваториальные координаты α и δ звезды относятся к той же эпохе, что и координаты Луны. Часовой угол $\mu_☾$ Луны в данном пункте земной поверхности вычисляется для различных моментов времени T по формуле (1.288).

Пусть географические координаты пункта наблюдений суть λ (долгота), φ (широта) и ρ (геоцентрический радиус-вектор).

По известной φ вычисляем геоцентрическую широту φ' пункта наблюдений $\operatorname{tg}\varphi' = 0{,}99330 \cdot \operatorname{tg}\varphi$ и, зная φ', находим $\sin\varphi'$, $\cos\varphi'$ и $\rho = 1 - 0{,}00339 \cdot \sin^2\varphi'$.

В пределах СССР можно в среднем считать $\rho = 0{,}998$.

Принимаем момент T_0 геоцентрического соединения Луны со звездой по прямому восхождению за исходный момент и для него

имеем: $\alpha_☾ = \alpha$; $\Delta\delta = \delta_☾ - \delta$ и часовое перемещение Луны по небесной параллели

$$\Delta\alpha'_☾ = \Delta\alpha_☾ \cos\delta_☾. \qquad (1.304)$$

Напомним, что при $\Delta\delta > 0$ центр лунного диска расположен севернее звезды; при $\Delta\delta < 0$ центр лунного диска расположен южнее звезды, (возможно только для географических широт $\varphi < +43°$); в пределах СССР практически всегда $\Delta\delta > 0$ и в редких случаях, лишь в самых южных районах СССР, бывает $\Delta\delta < 0$.

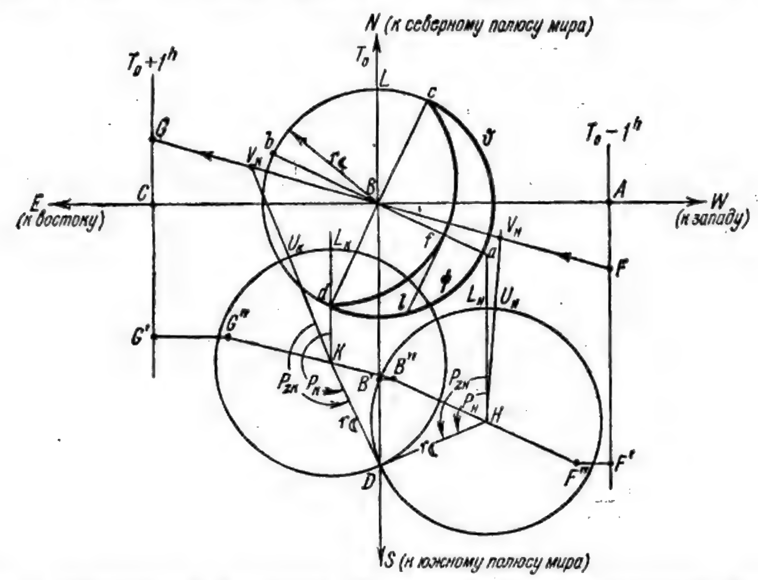


Рис. 48. Графический метод решения задачи определения обстоятельств покрытия звезды Луной.

Выберем масштаб для графического решения задачи. Весьма удобным является масштаб $1' = 2$ мм ($1° = 120$ мм).

Нанесем на листе бумаги (рис. 48) прямую NS, представляющую круг склонения, проходящий через центр лунного диска и звезду в момент T_0 ($\alpha_☾ = \alpha$).

Пусть точка D на круге склонения NS изображает звезду (α, δ). На расстоянии $BD = \Delta\delta$ от нее на том же круге склонения NS отметим точку B, изображающую геоцентрическое положение центра лунного диска в момент T_0. При $\Delta\delta > 0$ центр лунного диска B отмечается выше звезды D, т. е. в направлении к северному полюсу мира, при $\Delta\delta < 0$ — ниже звезды D. Проведя из точки B, как из центра, окружность радиуса $r_☾$ (в принятом масштабе), получим геоцентрическое положение лунного диска в момент T_0, т. е. положение Луны, усматриваемое в этот момент из центра Земли.

Через центр B лунного диска проведем перпендикулярно к NS прямую EW, изображающую небесную параллель со склонением $\delta_☾$.

За 1 час до момента T_0, т. е. в момент $T_1 = T_0 - 1^h$, экваториальные координаты Луны были

$$\alpha_{☾1} = \alpha_☾ - \Delta\alpha_☾, \quad \delta_{☾1} = \delta_☾ - \Delta\delta_☾, \tag{1.305}$$

а через час после T_0, в момент $T_2 = T_0 + 1^h$, они будут

$$\alpha_{☾2} = \alpha_☾ + \Delta\alpha_☾, \quad \delta_{☾2} = \delta_☾ + \Delta\delta_☾. \tag{1.306}$$

Вычислив по формуле (1.304) часовое перемещение $\Delta\alpha'_☾$ Луны по небесной параллели EW, отложим по ней значение $\Delta\alpha'_☾ = AB = BC$ в обе стороны от точки B. Через полученные точки A и C проведем перпендикуляры к параллели EW и на них, от точек A и C отложим часовое изменение склонения Луны $\Delta\delta_☾ = AF = CG$. Если $\delta_{☾1} < \delta_☾$ (т. е. $\Delta\delta_☾ > 0$), то $\Delta\delta_☾ = AF$ откладывается вниз ($-\Delta\delta_☾$), в сторону юга, а $\Delta\delta_☾ = CG$ — вверх, в сторону увеличения склонения, так как в этом случае $\Delta\delta_{☾2} > \delta_☾$. При $\Delta\delta_☾ < 0$ отрезки $\Delta\delta_☾$ откладываются в противоположных направлениях: AF — вверх, к северу, и CG — вниз, к югу. Полученные точки F и G изобразят геоцентрическое положение центра лунного диска соответственно в моменты T_1 и T_2, а прямая FG будет представлять видимый геоцентрический путь центра лунного диска за два часа, т. е. за интервал времени $T_2 - T_1$. Отрезки FB и BG являются отрезками этого пути за 1^h.

Хотя из центра Земли может и не усматриваться покрытия звезды Луной, однако вследствие параллактического смещения Луны оно может наблюдаться из некоторых точек земной поверхности, лежащих в определенных границах географической широты φ и долготы λ. Для наблюдателя, находящегося на северной географической широте $\varphi > \delta_☾$, параллактическое смещение Луны к югу по склонению

$$p_\delta = \rho p_☾ (\sin\varphi' \cos\delta_☾ - \cos\varphi' \sin\delta_☾ \cos\mu_☾). \tag{1.307}$$

Параллактическое смещение Луны по прямому восхождению

$$p_\alpha = \rho p_☾ \cos\varphi' \sin\mu_☾ \tag{1.308}$$

и при $0° < \mu_☾ < 180°$ откладывается на чертеже вправо, к западу ($p_\alpha > 0$), а при $180° < \mu_☾ < 360°$ — влево, к востоку ($p_\alpha < 0$).

Вычислив сначала $\mu_☾$, а затем p_δ и p_α для моментов $T_1 = T_0 - 1^h$, T_0 и $T_2 = T_0 + 1^h$, отложим на чертеже их значения. Параллактическое смещение по склонению p_δ откладывается по кругам склонения, и поскольку в пределах СССР всегда $p_\delta > 0$, оно всегда откладывается к югу. Для момента T_1 p_δ откладывается от точки F (геоцентрическое положение центра лунного диска в момент T_1) в виде отрезка $FF' = p_\delta$. Параллактическое смещение по прямому восхождению $p_\alpha = F'F''$ (для того же момента) нужно отложить от точки F' по небесной параллели,

согласно знаку p_α (на рис. 48 принято $p_\alpha = F'F'' < 0$ и отложено влево, к востоку).

Аналогично для момента T_0 отложим $p_\delta = BB'$ и $p_\alpha = B'B''$, а для момента $T_2 = T_0 + 1^h$ $p_\delta = GG'$ и $p_\alpha = G'G''$. Полученные точки F'', B'', G'' дадут топоцентрические положения центра лунного диска в моменты T_1, T_0 и T_2 по наблюдениям из данного пункта земной поверхности с географическими координатами λ, φ, а слегка изломанная линия $F''B''G''$ — видимый (топоцентрический) путь Луны за 2 часа (от T_1 до T_2) для того же пункта.

Если звезда (α, δ) в момент T_0 находится к востоку от небесного меридиана места наблюдения, то находят еще одно топоцентрическое положение центра лунного диска (аналогичное F'') для момента $T_3 = T_0 - 2^h$. Если же звезда в момент T_0 находится к западу от небесного меридиана, то подобное же построение осуществляют для $T_4 = T_0 + 2^h$.

Далее, из точки D (звезда) радиусом $r_☾$ делают на топоцентрическом пути Луны $F''B''G''$ две засечки, точки пересечения которых с этим путем H и K дадут видимые положения центра лунного диска в моменты начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия звезды D Луной.

Если радиус $r_☾$ окажется малым и не пересечется с видимым путем $F''B''G''$, то покрытия звезды Луной не произойдет. Описав из точек H и K окружности радиусом $r_☾$, получим видимые положения лунного диска в моменты начала и конца покрытия звезды.

Моменты начала $T_н$ и конца $T_к$ покрытия находятся графическим путем. Так как пути $F''B''$ и $B''G''$ Луна проходит за 1 час, то отрезок $F''B'' = \Delta_1$, измеренный в миллиметрах, даст масштаб времени

$$m_1 = \frac{60}{\Delta_1}\left(\frac{\text{минут}}{\text{мм}}\right). \tag{1.309}$$

Измерив в миллиметрах отрезок $HB'' = d_1$, получим интервал времени в минутах

$$t_1 = m_1 \cdot d_1, \tag{1.310}$$

отделяющий момент $T_н$ от T_0, откуда

$$T_н = T_0 - t_1. \tag{1.311}$$

Аналогично, отрезок $B''G'' = \Delta_2$ даст масштаб времени

$$m_2 = \frac{60}{\Delta_2}\left(\frac{\text{минут}}{\text{мм}}\right),$$

а $B''K = d_2$ определит интервал времени $t_2 = m_2 d_2$ в минутах, откуда

$$T_к = T_0 + t_2. \tag{1.311a}$$

Соединим звезду D с точками H и K и через них проведем прямые, параллельные кругу склонения NS, до пересечения в точках $L_н$ и $L_к$ с краем диска Луны. Тогда угол $\angle L_н HD = P_н$ даст позиционный угол $P_н$ начала покрытия звезды. Аналогично

угол $\angle L_к KD = P_к$ представляет собой позиционный угол $P_к$ конца покрытия звезды. Оба угла отсчитываются от северной точки ($L_н$ и $L_к$) лунного диска против часовой стрелки и измеряются на чертеже транспортиром.

Если нужно определить углы положения $P_{zн}$ и $P_{zк}$ от зенита (т. е. от верхней точки лунного диска), то отрезки FB и BG делятся точками $V_н$ и $V_к$ в таком же отношении, как и отрезки $F''B''$ точкой H и $B''G''$ точкой K, т. е. в отношении

$$\left.\begin{aligned} \frac{FV_н}{V_н B} &= \frac{F''H}{HB''} = \frac{\Delta_1 - d_1}{d_1}, \\ \frac{BV_к}{V_к G} &= \frac{B''K}{KG''} = \frac{d_2}{\Delta_2 - d_2}. \end{aligned}\right\} \tag{1.312}$$

Полученные точки $V_н$ и $V_к$ раздельно соединяем с точками H и K и на пересечении прямых $V_н H$ и $V_к K$ с краем лунного диска отмечаем точки $U_н$ и $U_к$. От полученных точек, против часовой стрелки, отсчитываем с помощью транспортира углы положения от зенита:

$$\left.\begin{aligned} &\text{для начала покрытия} \quad P_{zн} = \angle U_н HD, \\ &\text{для конца покрытия} \quad P_{zк} = \angle U_к KD. \end{aligned}\right\} \tag{1.313}$$

Для начала покрытия всегда $P_н < 180°$, $P_{zн} < 180°$; для конца покрытия $P_к > 180°$; $P_{zк} > 180°$.

Видимое положение и величина лунного серпа во время покрытия. Часто бывает нужно знать видимое положение и величину лунного серпа во время покрытия звезды Луной. Для этого по данным Астрономического Ежегодника вычислим на заданный момент времени ($T_н$, T_0 или $T_к$) геоцентрические экваториальные координаты Солнца $\alpha_\odot$ и $\delta_\odot$ и найдем угол ϑ, определяемый равенством

$$\operatorname{ctg} \vartheta = \frac{\cos \delta_☾ \operatorname{tg} \delta_\odot - \sin \delta_☾ \cos (\alpha_☾ - \alpha_\odot)}{\sin (\alpha_☾ - \alpha_\odot)}. \tag{1.314}$$

Отложив вычисленный угол ϑ на изображении лунного диска (рис. 48) от северной его точки L по часовой стрелке, получим точку a ($\vartheta = \angle LBa$), через которую проведем диаметр лунного диска aBb. Через центр B проведем диаметр cd, перпендикулярный к aBb. Концевые точки c и d этого диаметра будут концами лунного серпа. От точки a, в направлении часовой стрелки, отложим дугу $\psi = al$, соответствующую возрасту Луны, т. е. лунной фазе. Поскольку синодический период обращения Луны вокруг Земли (синодический месяц) $T_s = 29{,}53$ суток и соответствует на чертеже дуге в 360°, то

$$\psi = \frac{360° \cdot \tau}{29{,}53} \quad \text{или} \quad \psi = 12°{,}2 \cdot \tau, \tag{1.315}$$

где τ — возраст Луны, выраженный в сутках, который легко может быть подсчитан по моменту предшествующего новолуния.

При $\psi < 180°$ из полученной точки l опускаем на диаметр ab перпендикуляр lf и точки c, f и d соединяем плавной кривой, представляющей лунный терминатор. Получившийся серп cad изобразит видимый лунный серп, т. е. освещенную Солнцем часть Луны. Если $\psi > 180°$, то через точку l проводят диаметр лунного диска lBl' и из точки l' опускают на ab перпендикуляр $l'f$, а затем уже соединяют точки c, f и d плавной кривой.

После вычислений все моменты обычно приводят к системе счета времени, принятой в месте наблюдений.

Попутно отметим что рассмотренное выше графическое построение хода покрытия звезды Луной может быть выполнено из условия неподвижной Луны и движения относительно нее покрываемой звезды. В этом случае аналитически вычисленным величинам должен приписываться обратный знак.

§ 23. Полуграфический метод предвычисления солнечных затмений

Этот метод аналогичен полуграфическому методу предвычисления покрытий звезд Луной (см. с. 141—146), и здесь также необходимы географические координаты λ и φ места, для которого проводятся вычисления.

Из Астрономического Ежегодника выписывают на момент T_0 геоцентрического соединения Луны с Солнцем по прямому восхождению следующие данные: для Солнца — прямое восхождение $\alpha_{\odot}$ и склонение $\delta_{\odot}$, их часовые изменения $\Delta\alpha_{\odot}$ и $\Delta\delta_{\odot}$, угловой радиус $r_{\odot}$; для Луны — прямое восхождение $\alpha_{☾}$ и склонение $\delta_{☾}$, их часовые изменения $\Delta\alpha_{☾}$ и $\Delta\delta_{☾}$, угловой радиус $r_{☾}$ и горизонтальный экваториальный параллакс $p_{☾}$.

Далее находят разность $(\delta_{☾} - \delta_{\odot})$, а также относительное часовое перемещение Луны по небесной параллели

$$\Delta\alpha'_{☾} = (\Delta\alpha_{☾} - \Delta\alpha_{\odot}) \cos\delta_{☾} \tag{1.316}$$

и по кругу склонения

$$\Delta\delta'_{☾} = \Delta\delta_{☾} - \Delta\delta_{\odot}. \tag{1.317}$$

Умножая $\Delta\alpha'_{☾}$ и $\Delta\delta'_{☾}$ поочередно на 2 и на 3, получают координаты Луны x_α и y_δ относительно Солнца в моменты времени T, отстоящие на 1^h, 2^h и 3^h (всего 6 моментов) в обе стороны от момента T_0:

$$x_\alpha = \Delta\alpha'_{☾}(T - T_0),$$

$$y_\delta = (\delta_{☾} - \delta_{\odot}) + \Delta\delta'_{☾}(T - T_0).$$

Проведя на чертеже (рис. 49) круг склонения Солнца NS, отмечают на нем положения центра солнечного диска (D) и центра лунного диска (B) в момент времени T_0 и, полагая Солнце неподвижным, строят по значениям x_α и y_δ видимый геоцентрический

путь Луны *FBG*, аналогично тому, как он строится при вычислении покрытия звезды Луной.

Затем для всех семи моментов времени T, включая и T_0, находят склонение Луны

$$\delta = \delta_{☾} + \Delta\delta_{☾} (T - T_0) \qquad (1.318)$$

и ее часовой угол

$$\mu = \mu_{☾} + (T - T_0), \qquad (1.319)$$

причем

$$\mu_{☾} = S_0 + \lambda - \alpha_{☾},$$

где S_0 — звездное время в Гринвиче в момент T_0, а λ считается положительной к востоку от Гринвича. При таком упрощенном

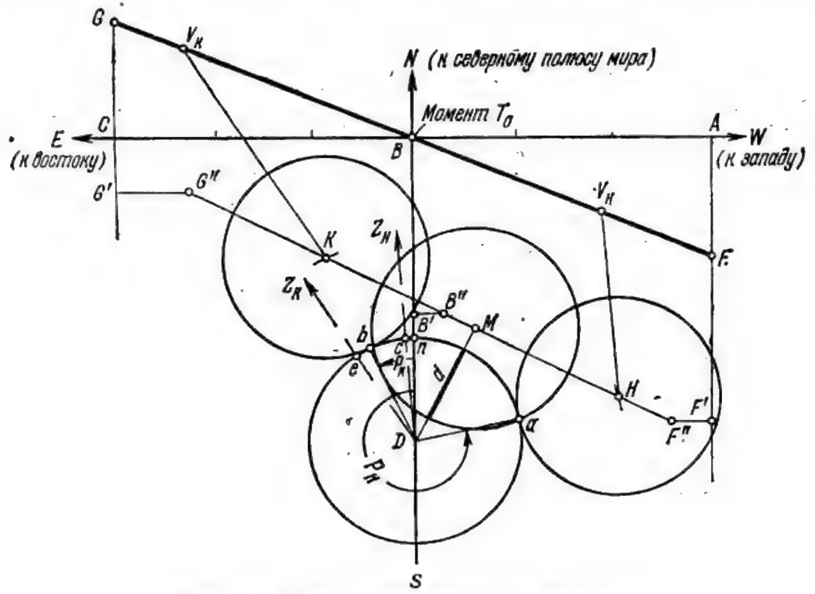


Рис. 49. К вычислению солнечного затмения.

способе вычисления μ наибольшая погрешность в его определении не превышает 0′,3, а в подавляющем большинстве случаев составляет около 0′,1, что нисколько не отражается на реальной точности графического построения.

Найденные по формулам (1.318) и (1.319) значения δ и μ используются в формулах (1.307) и (1.308) для вычисления параллактического смещения p_δ и p_α Луны для всех семи моментов времени, причем в этих формулах можно полагать $\varphi' = \varphi$ и $\rho = 0{,}998$.

Учитывая значения p_δ и p_α, строят видимый топоцентрический путь Луны $F''B''G''$, на котором отмечаются две точки, H и K, получаемые засечками в виде дуг радиусом $r_\odot + r_{☾}$ и с

центром в центре солнечного диска (D). Точки H и K обозначают центр лунного диска в моменты его внешнего касания с солнечным диском, т. е. в моменты начала (первый контакт) и конца (четвертый контакт) частных фаз затмения. Сами точки касания a и b легко находятся построением двух лунных дисков радиусом $r_☾$, с центрами в точках H и K, а позиционные углы P_1 ($P_н$) и P_4 ($P_к$) точек касания измеряются транспортиром при центре солнечного диска (D), от его северной точки n, в направлении против вращения часовой стрелки.

Если теперь на топоцентрическом лунном пути $F''B''G''$ аналогичным образом наметить две точки засечками в виде дуг радиусами $r_☾ - r_\odot$ (при кольцеобразном затмении — радиусами $r_\odot - r_☾$), то полученные точки дадут положение центра лунного диска в моменты его внутреннего касания с солнечным диском, т. е. в моменты начала (второй контакт) и конца (третий контакт) полного или кольцеобразного затмения (эти точки на рис. 49 не показаны, так как он иллюстрирует ход частного солнечного затмения).

Соединив точки H и K раздельно с точками $V_н$ и $V_к$ на геоцентрическом лунном пути FBG (их построение см. на с. 145) прямыми линиями $HV_н$ и $KV_к$, проводят из центра D солнечного диска параллельные им прямые $DZ_н$ и $DZ_к$, которые в пересечении с солнечным диском дают его точки c и e, обращенные к зениту в моменты начала и конца частных фаз затмения. От этих точек легко отсчитать углы от зенита $P_{zн}$ и $P_{zк}$ точек касания солнечного и лунного дисков в эти же моменты времени (часто эти углы обозначаются через $Z_н$ и $Z_к$).

Опустив из центра D солнечного диска перпендикуляр DM на топоцентрический путь $F''B''G''$ Луны, получают на нем точку M, соответствующую положению центра лунного диска в момент наибольшей фазы солнечного затмения, а проведя из нее, как из центра, окружность радиусом $r_☾$, нетрудно найти наибольшую фазу затмения

$$\Phi_m = \frac{d}{2r_\odot} \quad \text{или} \quad \Phi_m = \frac{r_\odot + r_☾ - \sigma}{2r_\odot},$$

где d — закрытая Луной часть диаметра солнечного диска и σ — угловое расстояние между центрами дисков обоих светил.

Аналогично определяются частные фазы в любые моменты затмения, только в этих случаях необходимо найти на топоцентрическом пути Луны положения центра лунного диска в эти моменты времени.

Сами моменты времени определяются так же, как и в полуграфическом способе вычисления покрытий звезд Луной, с той лишь разницей, что отрезки пути $F''B''$ и $B''G''$ Луна проходит не за 1 час, а за другой интервал времени (2 или 3 часа). После окончания всех вычислений моменты приводятся к принятой системе счета времени.

§ 24. Предвычисление лунных затмений

Явление *лунного затмения* состоит в погружении Луны в земную тень. В зависимости от степени погружения Луны в тень Земли лунное затмение может быть полным или частным. Конус земной тени образуется внешними касательными к Солнцу и Земле (рис. 50); вершина его лежит за пределами лунной орбиты. Внутренние же касательные к Солнцу и Земле образуют расходящийся конус земной полутени с вершиной, лежащей между Солнцем и Землей. В связи с этим погружение Луны в земную тень, строго говоря, нужно называть *теневым затмением* Луны, в отличие от *полутеневого затмения*, при котором Луна проходит через полутень Земли. Полутеневое затмение не обнаруживается наблюдениями невооруженным глазом, но с помощью инструментальных средств заметно небольшое ослабление света полной Луны. Наблюдения полутеневых затмений представляют значительный интерес для исследования прозрачности верхних слоев земной атмосферы.

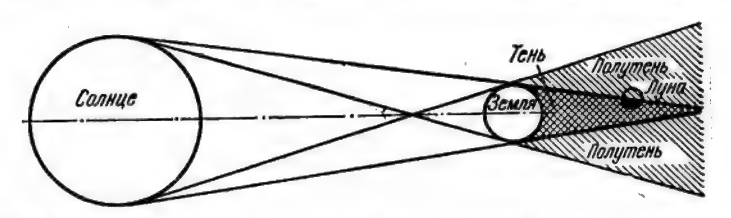


Рис. 50. Образование конуса земной тени и полутени (к объяснению явления лунных затмений).

Вследствие наличия у Земли атмосферы контуры земной тени и полутени весьма размыты. Поперечное сечение обоих конусов должно иметь вид эллипсов (из-за сфероидальной формы Земли), однако с достаточной степенью точности оба конуса можно полагать круговыми. Размытость краев земной тени приводит к тому, что положение контура тени на лунном диске может быть определено с точностью, не превышающей $\pm 6''$, и эта размытость учитывается введением в размеры контуров тени и полутени поправочного коэффициента $k = \frac{51}{50} = 1{,}02$. Это же обстоятельство не позволяет вычислять лунные затмения с точностью, превышающей $\pm 0^m{,}5$, и поэтому можно пользоваться упрощенным методом вычисления.

Задача предвычислений лунных затмений состоит в определении моментов касания Луны с полутенью и тенью Земли, момента и величины наибольшей фазы затмения, продолжительности затмения, позиционных углов точек касания, в определении положения края земной тени на Луне в различные моменты времени и положения границ видимости лунного затмения на Земле.

Введем следующие обозначения:

Геоцентрические экваториальные координаты центров	Солнца	Земной тени	Земной полутени	Луны
Прямое восхождение	$\alpha_{\odot}$	α	α	$\alpha_{☾}$
Часовое изменение прямого восхождения	$\Delta\alpha_{\odot}$	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha_{☾}$
Склонение	$\delta_{\odot}$	δ	δ	$\delta_{☾}$
Часовое изменение склонения	$\Delta\delta_{\odot}$	$\Delta\delta$	$\Delta\delta$	$\Delta\delta_{☾}$
Видимый угловой радиус	$r_{\odot}$	r *)	R*)	$r_{☾}$
Экваториальный горизонтальный параллакс	$p_{\odot}$	—	—	$p_{☾}$

*) На расстоянии Луны от Земли.

Поскольку центр контуров земной тени и полутени всегда лежит на эклиптике, в точке, диаметрально противоположной центру Солнца, то

$$\alpha = \alpha_{\odot} + 180° \text{ и } \delta = -\delta_{\odot}. \quad (1.320)$$

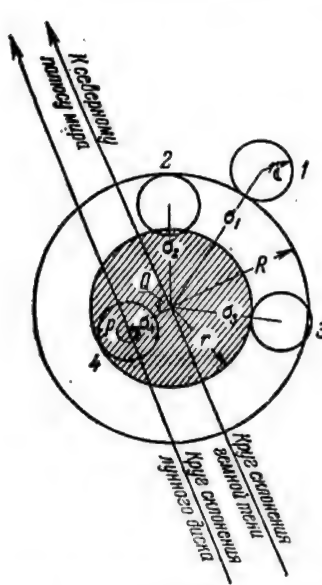


Рис. 51. К определению углового расстояния между центрами лунного диска и конуса земной тени и полутени в различные моменты затмения Луны.

При вычислении r и R горизонтальный параллакс Луны $p'_{☾}$ относят не к экваториальному радиусу Земли, а к ее среднему радиусу, соответствующему географической широте $\varphi = 45°$; поэтому $p'_{☾} = 0{,}99833 \cdot p_{☾}$.

Радиусы земной тени и полутени определяются выражениями

$$\left.\begin{aligned} r &= 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_{☾} - r_{\odot} + p_{\odot}), \\ R &= 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_{☾} + r_{\odot} + p_{\odot}). \end{aligned}\right\} \quad (1.321)$$

Разность радиусов

$$R - r = 2{,}04 \cdot r_{\odot}. \quad (1.322)$$

Тогда в моменты начала и конца полутеневого затмения, т. е. в моменты внешнего касания Луны с земной полутенью, угловое расстояние σ между центрами земной тени и лунного диска будет (рис. 51):

$$\sigma_1 = R + r_{☾} = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_{☾} + r_{\odot} + p_{\odot}) + r_{☾}. \quad (1.323)$$

В момент полного погружения Луны в полутень или в момент начала выхода Луны из полутени происходит внутреннее касание Луны с полутенью и

$$\sigma_2 = R - r_{☾} = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_{☾} + r_{\odot} + p_{\odot}) - r_{☾}. \quad (1.324)$$

В моменты начала и конца частного (теневого) затмения, т. е. в моменты внешнего касания Луны с земной тенью (первый и четвертый контакты),

$$\sigma_3 = r + r_☾ = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ - r_\odot + p_\odot) + r_☾. \quad (1.325)$$

В моменты начала и конца полного теневого затмения (второй и третий контакты) происходит внутреннее касание Луны с земной тенью, и тогда

$$\sigma_4 = r - r_☾ = 1{,}02 \cdot (0{,}99833 p_☾ - r_\odot + p_\odot) - r_☾. \quad (1.326)$$

Вычисление обстоятельств лунного затмения может быть проведено двумя способами: аналитическим и графическим.

Аналитический метод. В любой момент времени экваториальные координаты центров земной тени и лунного диска связаны соотношениями (рис. 52):

$$\sin\sigma \sin Q = \cos\delta_☾ \sin(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.327)$$

$$\sin\sigma \cos Q = \sin\delta_☾ \cos\delta - \sin\delta \cos\delta_☾ \cos(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.328)$$

$$\sin\sigma \sin P_1 = \cos\delta \sin(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.329)$$

$$\sin\sigma \cos P_1 = \sin\delta \cos\delta_☾ - \sin\delta_☾ \cos\delta \cos(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.330)$$

$$\sin Q \cos\delta = \sin P_1 \cos\delta_☾, \quad (1.331)$$

причем σ — угловое расстояние между центрами лунного диска и земной тени; Q — позиционный угол центра лунного диска при центре земной тени, отсчитываемый против часовой стрелки от направления к северному полюсу мира; $P_1 = 360° - P$, где P — позиционный угол центра земной тени при центре лунного диска.

Обычно в формулах (1.327)—(1.331) заменяют δ на $-\delta_\odot$ и α на $\alpha_\odot + 180°$. Мы не рекомендуем делать второй замены, так как при вычислениях о ней часто забывают и вносят ошибку, равную 180°.

Поэтому, заменяя δ на $-\delta_\odot$ и P_1 на $360° - P$, получим:

$$\sin\sigma \sin Q = \cos\delta_☾ \sin(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.332)$$

$$\sin\sigma \cos Q = \sin\delta_☾ \cos\delta_\odot + \sin\delta_\odot \cos\delta_☾ \cos(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.333)$$

$$\sin\sigma \sin P = -\cos\delta_\odot \sin(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.334)$$

$$\sin\sigma \cos P = -\sin\delta_\odot \cos\delta_☾ - \sin\delta_☾ \cos\delta_\odot \cos(\alpha_☾ - \alpha), \quad (1.335)$$

$$\sin Q \cos\delta_\odot = -\sin P \cos\delta_☾. \quad (1.336)$$

Момент середины затмения T_m (он же момент наибольшей линейной фазы Φ_m затмения) близок к моменту T_0 геоцентрического противостояния Луны с Солнцем по прямому восхождению. Вследствие малых и почти пропорциональных времени

изменений $\alpha_{☾}$, $\delta_{☾}$ и α, δ в течение всего затмения, охватывающего интервал времени $\Delta T \approx T_0 \pm 3^h$, вычисление всех обстоятельств затмения проводят относительно исходного момента T_u, близкого к T_0 (или относительно самого T_0), и лишь при необходимости уточнения результатов находят второе приближение вычисленных моментов времени. Исходный момент T_u выбирается так, чтобы он содержал целое число десятков минут, что облегчает технику вычислений. Значения α, δ, $\alpha_{☾}$, $\delta_{☾}$, σ, P и линейной фазы затмения (теневой Φ и полутеневой θ) в течение всего хода затмения вычисляют на моменты времени, разделенные интервалами в 10 минут, и сводят в таблицу, называемую эфемеридой лунного затмения.

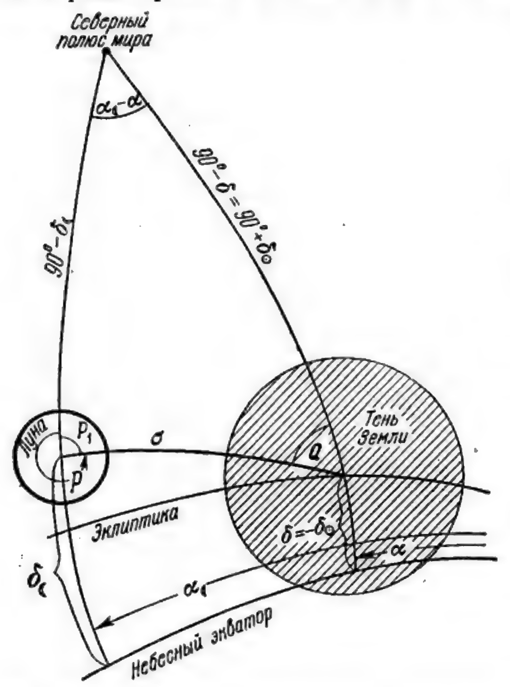


Рис. 52. Сферический треугольник, связывающий экваториальные координаты центров лунного диска и земной тени.

По эфемеридам Солнца и Луны, взятым из Астрономического Ежегодника, интерполированием (см. гл. VI) находят момент T_0 *) геоцентрического противостояния Луны с Солнцем по прямому восхождению; в момент T_0

$$\alpha_{☾} = \alpha_{\odot} + 12^h \text{ или } \alpha_{☾} = \alpha_{\odot} + 180°,$$

По часовым изменениям $\Delta\alpha_{☾}$, $\Delta\delta_{☾}$, $\Delta\alpha_{\odot}$ и $\Delta\delta_{\odot}$ экваториальных координат Луны и Солнца находят $\alpha_{☾}$, $\delta_{☾}$, $\alpha_{\odot}$ и $\delta_{\odot}$, а следовательно, α и δ центра земной тени, на моменты времени, отстоящие в обе стороны от T_u на 1^h, 2^h и 3^h.

Если α_u и δ_u суть экваториальные координаты на момент T_u, то для любого другого момента времени T

$$\alpha_T = \alpha_u + \Delta\alpha(T - T_u) \quad \text{и} \quad \delta_T = \delta_u + \Delta\delta(T - T_u), \qquad (1.337)$$

где $T - T_u$ выражено в часах и десятичных долях часа.

*) О моментах времени см. § 5 гл. I.

Для центра земной тени

и

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \alpha_{ц} + \Delta\alpha_{\odot}(T - T_{ц}) \\ \delta &= \delta_{ц} - \Delta\delta_{\odot}(T - T_{ц}) \end{aligned}\right\} \qquad (1.338)$$

В течение затмения σ, $(\alpha_{☾} - \alpha)$ и $(\delta_{☾} - \delta) = (\delta_{☾} + \delta_{\odot})$ являются сравнительно малыми величинами, и ими можно заменить синусы в формулах (1.332)—(1.335).

Обозначая правые части равенств (1.332) и (1.333) через x и y, получим для любого момента затмения:

$$\sigma \sin Q = x, \quad \sigma \cos Q = y \text{ и } \sigma = +\sqrt{x^2 + y^2}. \qquad (1.339)$$

Тогда $x = (\alpha_{☾} - \alpha)\cos\delta_{☾}$ и $y = \delta_{☾} + \delta_{\odot} - \omega$, где ω — поправка на изменение $(\alpha_{☾} - \alpha)$:

$$\omega = 206265 \cdot \sin 2\delta_{\odot} \sin^2 \frac{\alpha_{☾} - \alpha}{2}. \qquad (1.340)$$

Здесь величины ω, x и y выражены в секундах дуги.

По значениям x и y на соседние моменты времени (разделенные интервалом в 1 час) находят их часовые изменения

$$x' = x_2 - x_1, \quad y' = y_2 - y_1, \qquad (1.341)$$

где x_2, y_2 и x_1, y_1 суть величины, относящиеся соответственно к последующему и предыдущему моментам времени.

Часовые изменения x' и y' могут быть вычислены по приближенным, но вполне применимым в этом случае формулам

$$x' = (\Delta\alpha_{☾} - \Delta\alpha_{\odot})\cos\delta_{☾}, \quad y' = \Delta\delta_{☾} + \Delta\delta_{\odot}, \qquad (1.342)$$

причем вполне допустимо взять $\cos\delta_{☾}$ только для момента $T_{ц}$ или, что еще лучше, для T_0.

Обозначая через x_0, y_0 значения x и y для исходного момента $T_{ц}$, можно считать, что для произвольного момента $T = T_{ц} + t$ x и y определяются формулами

$$\left.\begin{aligned} x &= x_0 + x't, \\ y &= y_0 + y't, \end{aligned}\right\} \qquad (1.343)$$

где t выражено в долях часа.

Таким образом, задавая интервалы времени t, можно вычислить для любого момента T значения x и y и затем по формулам (1.339) определить σ и Q для этих моментов.

Для вычисления моментов и позиционных углов контактов края лунного диска с полутенью и тенью Земли можно воспользоваться следующим способом решения.

Введем вспомогательные величины $m > 0$, $n > 0$, M и N, связанные между собой соотношениями

$$\left.\begin{aligned} m \sin M = x_0, \quad n \sin N = x', \\ m \cos M = y_0, \quad n \cos N = y', \end{aligned}\right\} \tag{1.344}$$

откуда найдем

$$\left.\begin{aligned} m = +\sqrt{x_0^2 + y_0^2}, \quad n = +\sqrt{x'^2 + y'^2}, \\ \operatorname{tg} M = \frac{x_0}{y_0}, \quad \operatorname{tg} N = \frac{x'}{y'} \end{aligned}\right\} \tag{1.345}$$

и определим значения M и N в соответствии со знаками формул (1.344).

Далее, составим разность $(M - N)$ и найдем $\sin(M - N)$ и $\cos(M - N)$.

Тогда величина позиционного угла Q центра лунного диска при центре земной тени определится из соотношений

$$\sin(Q - N) = \frac{m}{\sigma} \sin(M - N) \text{ и } Q = (Q - N) + N. \tag{1.346}$$

Формулы (1.346) дают два значения $(Q - N)$ и Q, одно из которых соответствует началу, а другое — концу полутеневого или теневого затмения.

Для начала затмения

$$+90° < (Q - N) < +270° \text{ и } 180° < Q < 360°;$$

для конца затмения

$$-90° < (Q - N) < +90° \text{ и } 0° < Q < 180°. \tag{1.347}$$

Более удобно определять положение точек контактов не на контуре тени (или полутени), а на лунном диске. Это положение определяется позиционным углом P при центре лунного диска (рис. 52), который определяется из формулы (1.336) или, полагая с достаточной степенью точности, что $\cos \delta_{\odot} \approx \cos \delta_{☾}$, по более простой формуле

$$P = Q \pm 180°. \tag{1.348}$$

Для начала затмения

$$0° < P < 180°,$$

для конца затмения

$$180° < P < 360°. \tag{1.349}$$

Момент наибольшей фазы

$$T_m = T_ц + t_m, \tag{1.350}$$

где $t_m = -\frac{m}{n} \cos(M - N)$ и выражено в долях часа, $t_m = -\frac{60 \cdot m}{n} \cos(M - N)$ выражено в минутах времени.

Продолжительность затмения

$$\left.\begin{array}{l}\tau = 2\,\frac{\sigma}{n}\cos(Q-N) \text{ выражена в часах} \\ \text{или} \\ \tau = 120\,\frac{\sigma}{n}\cos(Q-N) \text{ выражена в минутах,}\end{array}\right\} \qquad (1.351)$$

где для внешних контактов с земной тенью $\sigma = r + r_{☾}$, для внутренних контактов с земной тенью $\sigma = r - r_{☾}$, для внешних контактов с земной полутенью $\sigma = R + r_{☾}$ и для внутренних контактов с земной полутенью $\sigma = R - r_{☾}$, а значение $\cos(Q-N)$ относится к тем же соответствующим контактам.

Моменты контактов, т. е. моменты начала и конца затмения (полного, частного, полутеневого), определяются из условия

$$T = T_{и} + t, \text{ где } \quad t = +t_m \pm \frac{\tau}{2}, \qquad (1.352)$$

причем для начала $\frac{\tau}{2} < 0$, а для конца $\frac{\tau}{2} > 0$.

При вычислении моментов контактов полезна проверка их точности. Для этого по вычисленным моментам $T_{н}$ и $T_{к}$ одного вида затмения находят $T_m = \frac{T_{н} + T_{к}}{2}$ и сравнивают его с результатом, полученным по формуле (1.350). Точно так же $\tau = T_{к} - T_{н}$ должно совпасть с результатом формулы (1.351).

Вычисления обстоятельств затмения значительно упрощаются, если за исходный момент $T_{и}$ принять момент T_0 геоцентрического противостояния Луны с Солнцем. Так как в этот момент $\alpha_{☾} = \alpha$, то в формулах (1.340), (1.342) и (1.343) $x_0 = 0$, $\omega = 0$, $y_0 = \delta_{☾} + \delta_{\odot}$, $x = x't$ и $y = (\delta_{☾} + \delta_{\odot}) + y't$. Тогда по формулам (1.344) и (1.345) $m = y_0 = \delta_{☾} + \delta_{\odot}$ и $M = 0°$ или $180°$. Соответственно упрощаются и остальные выражения.

В любой момент теневого затмения его линейная фаза

$$\Phi = \frac{r + r_{☾} - \sigma}{2r_{☾}}, \qquad (1.353)$$

а при полутеневом затмении линейная фаза

$$\theta = \frac{R + r_{☾} - \sigma}{2r_{☾}}, \qquad (1.353')$$

причем σ определяется по формуле

$$\left.\begin{array}{l}\cos\sigma = \sin\delta\sin\delta_{☾} + \cos\delta\cos\delta_{☾}\cos(\alpha_{☾} - \alpha) \\ \text{или} \\ \cos\sigma = -\sin\delta_{\odot}\sin\delta_{☾} + \cos\delta_{\odot}\cos\delta_{☾}\cos(\alpha_{☾} - \alpha).\end{array}\right\} \qquad (1.354)$$

Наибольшая фаза Φ_m теневого затмения и наибольшая фаза θ_m полутеневого затмения может быть также найдена по формуле

$$\Phi_m\,(\text{и } \theta_m) = \frac{\sigma - |m \sin (M - N)|}{2r_☾}, \qquad (1.355)$$

где при теневом затмении $\sigma = r + r_☾$, а при полутеневом затмении $\sigma = R + r_☾$.

Позиционный угол P в любой момент затмения легко вычисляется по формуле

$$\sin P = -\cos\delta \frac{\alpha_☾ - \alpha}{\sigma} = -\cos\delta_\odot \frac{\alpha_☾ - \alpha}{\sigma}. \qquad (1.356)$$

Вычисления по формулам (1.354) и (1.356) требуют применения шестизначных таблиц тригонометрических функций. В противном случае точность вычислений будет недостаточной.

После вычислений обстоятельств затмения можно получить второе приближение моментов контактов. Для этого нужно принять вычисленные моменты за исходные и повторить вычисления заново. Уточнение же величины позиционных углов P можно провести по формуле (1.356), подставляя в нее $(\alpha_☾ - \alpha)$, σ и $\cos\delta_\odot$ для соответствующих моментов времени (моментов контактов).

Лунное затмение видно на всем ночном полушарии Земли. Восточная граница видимости затмения проходит по тем местам земной поверхности, в которых затмение начинается в момент захода Луны. Западной границей затмения является линия, на которой затмение заканчивается в момент восхода Луны. Эти границы, называемые предельными линиями затмения, вычисляются обычно для начала и конца частного и полного затмения, а также для его наибольшей фазы.

Пусть T есть момент по всемирному (гринвичскому) времени, в который наступает заданная фаза лунного затмения (начало, конец, наибольшая фаза). Тогда, вычислив на момент T звездное время S в Гринвиче и зная $\alpha_☾$ в этот момент, найдем часовой угол t_0 Луны в Гринвиче. В месте восхода (или захода) Луны на широте φ в тот же момент часовой угол будет $t_☾$, причем

$$\cos z_☾ = \sin\varphi \sin\delta_☾ + \cos\varphi \cos\delta_☾ \cos t_☾. \qquad (1.357)$$

Здесь $z_☾$ — зенитное расстояние центра Луны в моменты ее восхода и захода,

$$z_☾ = 90° + r_☾ - p_☾ + \rho, \qquad (1.358)$$

где ρ — рефракция в горизонте.

Поскольку рефракция меняется ото дня ко дню, то приходится вводить среднюю рефракцию $\rho = 35'$, а это означает, что нет смысла учитывать точные значения $r_☾$ и $p_☾$ и достаточно огра-

ничиться их средними значениями $r_☾ = 15' 39''$ и $p_☾ = 57' 30''$, что приводит к значениям $z_☾ = 89° 53',1$ и $\cos z_☾ = 0,002 007$.

Зная на тот же момент $\delta_☾$, задаются различными φ и по формуле (1.357) вычисляют для каждой φ два значения $t_☾$: для восхода $t_☾ < 0$ и для захода $t_☾ > 0$.

Географическая долгота λ мест, лежащих на предельных линиях, получится из равенства

$$\lambda = t_☾ - t_0. \qquad (1.359)$$

Отношение площади s той части лунного диска, которая покрыта земной тенью, к площади s_0 всего лунного диска называется *поверхностной фазой* затмения. Очевидно, поверхностная фаза $\Phi_0 = \frac{s}{s_0}$ может быть вычислена для любого момента времени по линейной фазе затмения Φ. Для этого найдем для теневого затмения $b = \frac{r}{r_☾}$ $\left(\text{для полутеневого затмения } b = \frac{R}{r_☾}\right)$ и вычислим на определенные моменты времени величину $\varkappa = 2 \cdot \sqrt{\Phi(1-\Phi)(b-\Phi)(b+1-\Phi)}$. Тогда

$$\Phi_0 = \frac{1}{\pi}[b^2\psi_1 + \psi_2 - \varkappa], \qquad (1.360)$$

причем углы ψ_1 и ψ_2 выражены в радианах и определяются равенствами

$$\sin\psi_2 = \frac{\varkappa}{b+1-2\Phi} \quad \text{и} \quad \sin\psi_1 = \frac{\sin\psi_2}{b}. \qquad (1.361)$$

Значения Φ_0 для $b = 2,60$; $2,66$; $2,70$ и $2,80$ приведены в табл. VII.

Таблица VII

Ф	b			
	2,60	2,66	2,70	2,80
0,1	0,04487	0,04497	0,04509	0,04528
0,2	0,12447	0,12484	0,12506	0,12561
0,3	0,22404	0,22462	0,22496	0,22588
0,4	0,33717	0,33793	0,33840	0,33959
0,5	0,45944	0,46000	0,46059	0,46202
0,6	0,58556	0,58651	0,58717	0,58841
0,7	0,71218	0,71319	0,71347	0,71485
0,8	0,83217	0,83285	0,83332	0,83436
0,9	0,93635	0,93672	0,93696	0,93744
1,0	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Пример вычисления полного лунного затмения 7 ноября 1957 г. Из эфемерид Луны и Солнца на ноябрь 1957 г., помещенных в Астрономическом Ежегоднике на 1957 г. находим:

$T_0 = 7$ ноября, $14^h16^m43^s$ по всемирному времени, или $T_0 = 14^h16^m,7$.

Интерполируя по соседним моментам экваториальные координаты Солнца и Луны, находим для T_0, который примем за исходный момент:

$$\alpha_{\odot} = 14^h 49^m 48^s \qquad \alpha_{☾} = 2^h 49^m 48^s$$
$$\Delta\alpha_{\odot} = +10^s,0 = 150'',0 \qquad \Delta\alpha_{☾} = +2^m 07^s,9 = +1918'',5$$
$$\delta_{\odot} = -16^\circ 18' 43'' \qquad \delta_{☾} = +15^\circ 54' 14''$$
$$\Delta\delta_{\odot} = -44'',3 \qquad \Delta\delta_{☾} = +6' 25'',4 = +385'',4$$
$$p_{\odot} = 8'',9 \qquad p_{☾} = 55' 35'',4 = 3335'',4$$
$$r_{\odot} = 16' 08'',6 = 968'',6 \qquad r_{☾} = 15' 08'',1 = 908'',1$$
$$\alpha = 2^h 49^m 18^s \qquad \delta = +16^\circ 18' 43''.$$

Вычисление обстоятельств затмения:

По (1.321) и (1.322) $r = 2418'' = 40',3$; $R = 4393'' = 1^\circ 13',2$;

$R - r = 1975'' = 32',9$.

По (1.323) — (1.326) $\sigma_1 = 5301'' = 1^\circ 28',4$; $\sigma_2 = 3485'' = 58',1$;

$\sigma_3 = 3326'' = 55',4$; $\sigma_4 = 1510'' = 25',2$.

По (1.340) и (1.343) $x_0 = 0$; $\omega = 0$; $y_0 = -24' 29'' = -1469''$;

По (1.342) $\Delta\alpha_{☾} - \Delta\alpha_{\odot} = +1768'',5$; $\Delta\delta_{☾} + \Delta\delta_{\odot} = +341'',1$;

$\cos\delta_{☾} = +0,961\,723.$

$x' = +1701''$; $x'^2 = 2\,893\,401$; $y' = +341''$; $y'^2 = 116\,281.$

По (1.344) и (1.345)

$m = +1469'',0$; $n = +1734'',8$; $\frac{m}{n} = +0,846\,783$;

$\sin M = 0$; $\operatorname{tg} N = +4,986\,807$;

$\cos M = -1$; $\sin N > 0$, $\cos N > 0$;

$M = 180^\circ$; $N = 78^\circ 39',8 = 78^\circ,664\,16$;

$M - N = 101^\circ 20',2$; $\cos(M - N) = -0,196\,560$; $\sin(M - N) = +0,980\,492$;

$m\cos(M - N) = -288'',7$; $m\sin(M - N) = +1440'',3.$

		Частное полутеневое затмение. Начало	Частное полутеневое затмение. Конец	Полное полутеневое затмение. Начало	Полное полутеневое затмение. Конец
		$\sigma_1 = 5302''$		$\sigma_2 = 3486''$	
По (1.346)	$\sin (Q - N)$	$+0{,}271\,660$		$+0{,}413\,179$	
и (1.347)	$\cos (Q - N)$	$\pm 0{,}962\,393$		$\pm 0{,}910\,650$	
	$Q - N$	164° 14′,2	15° 45′,8	155° 35′,7	24° 24′,3
	Q	242° 54′,0	94° 25′,6	234° 15′,5	103° 04,1
По (1.348) и (1.349)	P	62° 54′,0	274° 25′,6	54° 15′,5	283° 04′,1
Округленное	P	62°,9	274°,4	54°,3	283°,1
По (1.350)		$t_m = +10^m{,}0$			
		$T_m = 14^h\,26^m{,}7$		$T_0 = 14^h\,16^m{,}7$	
По (1.351)	$2\frac{\sigma}{n}$	6,1125		4,018 9	
	τ	$5^h{,}882\,6 = 5^h\,53^m{,}0$		$3^h{,}659\,8 = 3^h\,39^m{,}6$	
	$\frac{\tau}{2}$	$-2^h\,56^m{,}5$	$+2^h\,56^m{,}5$	$-1^h\,49^m{,}8$	$+1^h\,49^m{,}8$
По (1.352)	t	$-2^h46^m{,}5$	$+3^h06^m{,}5$	$-1^h39^m{,}8$	$+1^h59^m{,}8$
	T	$11^h30^m{,}2$	$17^h23^m{,}2$	$12^h36^m{,}9$	$16^h16^m{,}5$
Проверка:					
	$T_н + T_к$	$28^h\,53^m{,}4$		$28^h\,53^m{,}4$	
	$T_m = \frac{T_н + T_к}{2}$	$14^h\,26^m{,}7$		$14^h\,26^m{,}7$	
	$\tau = T_к - T_н$	$5^h\,53^m{,}0$		$3^h\,32^m{,}6$	
По (1.356)	$\sigma - \lvert m \sin (M - N) \rvert$			3862″	
	$2r_{☾}$			1816″	
	θ_m			2,13	
	b			$\frac{R}{r_{☾}} = 4{,}839$	

		Частное теневое затмение		Полное теневое затмение	
		Начало	Конец	Начало	Конец
		$\sigma_3 = 3326''$		$\sigma_4 = 1510''$	
По (1.346)	$\sin(Q-N)$	$+0{,}433\,056$		$+0{,}953\,870$	
	$\cos(Q-N)$	$\mp 0{,}901\,367$		$\mp 0{,}300\,220$	
	$Q-N$	$154°\,20',3$	$25°\,39',7$	$107°\,28',2$	$72°\,31',8$
По (1.347)	Q	$233°\,00',1$	$104°\,19',5$	$186°\,08',0$	$151°\,11',6$
По (1.348)	P	$53°\,00',1$	$284°\,19',5$	$6°\,08',0$	$331°\,11',6$
Округленное	P	$53°,0$	$284°,3$	$6°,1$	$331°,2$
По (1.351)	$2\dfrac{\sigma}{n}$	$3{,}834\,45$		$1{,}740\,83$	
	τ	$3^h,4562 = 3^h 27^m,4$		$0^h,5226 = 0^h 31^m,4$	
	$\dfrac{\tau}{2}$	$-1^h\,43^m,7$	$+1^h\,43^m,7$	$-0^h\,15^m,7$	$+0^h\,15^m,7$
По (1.352)	t	$-1^h\,33^m,7$	$+1^h\,53^m,7$	$-0^h\,05^m,7$	$+0^h\,25^m,7$
		$T_0 = 14^h\,16^m,7$			
	T	$12^h\,43^m,0$	$16^h\,10^m,4$	$14^h\,11^m,0$	$14^h\,42^m,4$
Проверка:					
	$T_н + T_к$	$28^h\,53^m,4$		$28^h\,53^m,4$	
	$T_m = \dfrac{T_н + T_к}{2}$	$14^h\,26^m,7$		$14^h\,26^m,7$	
	$\tau = T_к - T_н$	$3^h\,27^m,4$		$0^h\,31^m,4$	
По (1.353)	$\sigma - \lvert m \sin(M-N) \rvert$			$1886''$	
	$2r_☾$			$1816''$	
	Φ_m			$1{,}04$	
	b			$\dfrac{r}{r_☾} = 2{,}663$	

Вычисление эфемериды. Пример на $T = 14^h 00^m$

$T_0 = 14^h\, 16^m,7$

$T - T_0 = -0^h\, 16^m,7 = -0^h,2783$

По (1.337)	$\Delta\alpha_{☾}(T - T_0) = -36^s,$	$\Delta\delta_{☾}(T - T_0) = -1'\,47'';$
	$\alpha_{☾} = 2^h\, 49^m\, 12^s,$	$\delta_{☾} = +15°\, 52'\, 27'';$
	$\Delta\alpha_{\odot}(T - T_0) = -2^s,8 = -3^s;$	$\Delta\delta_{\odot}(T - T_0) = +12'';$
	$\alpha = 2^h\, 49^m\, 45^s;$	$\delta = +16°\, 18'\, 31'';$
	$(\alpha_{☾} - \alpha) = -0^m\, 33^s = -8'\, 15'';$	
	$\cos(\alpha_{☾} - \alpha) = 0,999\,997;$	
	$\cos\delta = 0,959\,763;$	$\sin\delta = 0,280\,811;$
	$\cos\delta_{☾} = 0,961\,865;$	$\sin\delta_{☾} = 0,273\,526;$
По (1.354)	$\cos\sigma = 0,999\,969;$	$\sigma = 27',07 = 1624'';$
	$r + r_{☾} = 3326'';$	$R + r_{☾} = 5302'';$
	$r + r_{☾} - \sigma = 1702'';$	$R + r_{☾} - \sigma = 3678'';$
По (1.353) и (1.353′)	$\Phi = 0,94;$	$\theta = 2,03;$
	$\cos\delta = +0,959\,763$	$\dfrac{\alpha_{☾} - \alpha}{\sigma} = -0,304\,803;$
По (1.356)	$\sin P = +0,292\,539$	$P = 17°,0$

По (1.358) $r_☾ = 89° 53',1$; $\cos z_☾ = +0{,}002\,007$.

Пример для $\varphi = +56°$; $\sin\varphi = +0{,}766\,044$; $\cos\varphi = +0{,}642\,788$.

	Начало частного затмения	Начало полного затмения	Наибольшая фаза затмения	Конец полного затмения	Конец частного затмения
T	$12^h\,43^m,0$	$14^h\,11^m,0$	$14^h\,26^m,7$	$14^h\,42^m,4$	$16^h\,10^m,4$
$T - T_0$	$-1^h,561\,7$	$-0^h,095\,0$	$+0^h,166\,7$	$+0^h,428\,3$	$+1^h,8950$
По (1.337) $\delta_☾ +$	$15° 44',2$	$15° 53',6$	$15° 55',3$	$15° 57',0$	$16° 06',4$
$\sin\delta_☾ +$	0,271 216	0,273 852	0,274 323	0,274 793	0,277 427
$\cos\delta_☾ +$	0,962 519	0,961 772	0,961 638	0,961 503	0,960 747
По (1.357) $\cos t_☾ -$	0,332 564	0,336 090	0,336 719	0,337 351	0,340 882
$t_☾ \mp$	$109° 25',5$	$109° 38',3$	$109° 40',6$	$109° 42',9$	$109° 55',8$

$$T_0 = \Delta T = 14^h\,16^m,7 \rightarrow \Delta S = 14^h\,19^m\,03^s$$

Из Астрономического Ежегодника, 7 ноября 1957 г. $S_0 = 3^h\,03^m\,43^s$

В момент T_0 в Гринвиче $s_0 = 17^h\,22^m\,46^s = 17^h\,22^m,8.$

$\Delta(T - T_0) \to (S - S_0)$	$-1^h\,34^m,0$	$-0^h\,05^m,7$	$+0^h\,10^m,0$	$+0^h\,25^m,8$	$+1^h\,54^m,0$
В Гринвиче S	$15^h\,48^m,8$	$17^h\,17^m,1$	$17^h\,32^m,8$	$17^h\,48^m,6$	$19^h\,16^m,8$
По (1.337) $\alpha_☾$	$2^h\,46^m,5$	$2^h\,49^m,6$	$2^h\,50^m,2$	$2^h\,50^m,7$	$2^h\,53^m,9$
$s - \alpha_☾ = t_0$	$13^h\,02^m,3$	$14^h\,27^m,5$	$14^h\,42^m,6$	$14^h\,57^m,9$	$16^h\,22^m,9$
t_0	$195°\,34',5$	$216°\,52',5$	$220°\,39',0$	$224°\,28',5$	$245°\,43',5$
По (1.359)					
при восходе λ	$+55°\,0'$	$+33°\,29'$	$+29°\,40'$	$+25°\,49'$	$+4°\,21'$
при заходе λ	$-86°\,09'$	$-107°\,14'$	$-110°\,58'$	$-114°\,46'$	$-135°\,48'$

Графический метод вычислений лунных затмений. Идея этого способа будет ясна из рассмотренного ниже примера графического вычисления обстоятельств лунного затмения 7 ноября 1957 г.

Найдем, как и ранее (см. с. 157—158), необходимые величины:

$T_0 = 14^h\,16^m,7$ примем за исходный момент

$\alpha_{\odot} = 14^h\,49^m\,48^s$ | $\alpha_{☾} = 2^h\,49^m\,48^s$

$\Delta\alpha_{\odot} = +10^s,0 = 150'',0$ | $\Delta\alpha_{☾} = +2^m\,07^s,9 = +1918'',5$

$\delta_{\odot} = -16°\,18'\,43''$ | $\delta_{☾} = +15°\,54'\,14''$

$\Delta\delta_{\odot} = -44'',3$ | $\Delta\delta_{☾} = +6'\,25'',4 = +385'',4$

$p_{\odot} = 8'',9$ | $p_{☾} = 55'\,35'',4 = 3335'',4$

$r_{\odot} = 16'\,08'',6 = 968'',6 = 16',1$ | $r_{☾} = 15'\,08'',1 = 908'',1 = 15',1$

$\alpha = 2^h\,49^m\,48^s$ | $\delta = +16°\,18'\,43''$

$r = 2418'' = 40',3$ | $R = 4394'' = 73',2$

$b = \dfrac{r}{r_{☾}} = 2,66$ | $b' = \dfrac{R}{r_{☾}} = 4,84,$

$\Delta\alpha_{\odot} = +150'',0; \quad \Delta\alpha_{☾} = +1918'',5; \quad \Delta\alpha_{☾} - \Delta\alpha_{\odot} = +1768'',5;$

$\cos\delta_{☾} = +0,961\,723;$

$$OA = x' = (\Delta\alpha_{☾} - \Delta\alpha_{\odot})\cos\delta_{☾} = +1701'' = +28',4;$$

$$AD = y' = \Delta\delta_{☾} + \Delta\delta_{\odot} = +341'',1 = 5',7$$

$$OC = y_0 = \delta_{☾} + \delta_{\odot} = 0°\,24'\,29'' = -24',5; \quad x_0 = 0.$$

На листе бумаги проведем две взаимно перпендикулярные прямые, точка O пересечения которых изобразит центр контуров земной тени и полутени (рис. 53). Прямая NS представит круг склонения, проходящий через центр земной тени в момент T_0; направление от O к N есть направление к северному полюсу мира. Прямая EW изображает небесную параллель; OE — направление к востоку; OW — к западу.

Выберем масштаб для изображения угловых величин (больший масштаб обеспечивает бо́льшую точность вычислений); на рис. 53 принято 1 мм = 2′.

В принятом масштабе опишем из O две окружности: одну радиусом $r = 40',3$ (контур тени) и другую радиусом $R = 73',2$ (контур полутени).

По небесной параллели от точки O отложим отрезок $OA = x' = 28',4$ (в сторону увеличения прямого восхождения), который представляет перемещение Луны по небесной параллели EW за 1 час относительно земной тени. Из точки A восставим перпендикуляр, на котором отложим отрезок $AD = y'$ (если $AD < 0$, то его следует откладывать вниз, в сторону S). Полученный отрезок OD представляет величину перемещения центра лунного диска за 1 час и, следовательно, служит масштабом времени: OD = 1 час = 14,6 мм.

Отложим на прямой NS отрезок $OC = y_0 = -24',5$, получим точку C, в которой находится центр Луны в момент T_0 ее геоцентрического противостояния с Солнцем. Прямая FG, проведенная через C параллельно OD, изобразит видимый путь Луны во время затмения. Точка C представляет также момент $T_0 = 14^h16^m,7$.

Используя масштаб времени (1 час = 14,6 мм; 1 минута = 0,24 мм), отложим на прямой FG от точки C вправо отрезок 4,1 мм, соответствующий $16^m,7$; получим точку, изображающую момент $T' = 14^h0^m,0$. От этой точки вправо и влево по прямой FG отложим отрезки, равные 14,6 мм (1 час) и получим точки, соответствующие моментам времени $11^h0^m,0$, $12^h0^m,0$, $13^h0^m,0$, $15^h0^m,0$, $16^h0^m,0$ и $17^h0^m,0$. Опустив из точки O на прямую FG перпендикуляр OM, получим точку M, в которой центр лунного диска находится в середине затмения T_m и в которой наступает наибольшая фаза затмения Φ_m.

Теперь радиусом $r_☾ = 15',1$ построим ряд окружностей, изображающих положение лунного диска в различные моменты затмения. Центры этих окружностей лежат на прямой FG. Так, построив окружности, касательные к полутени,

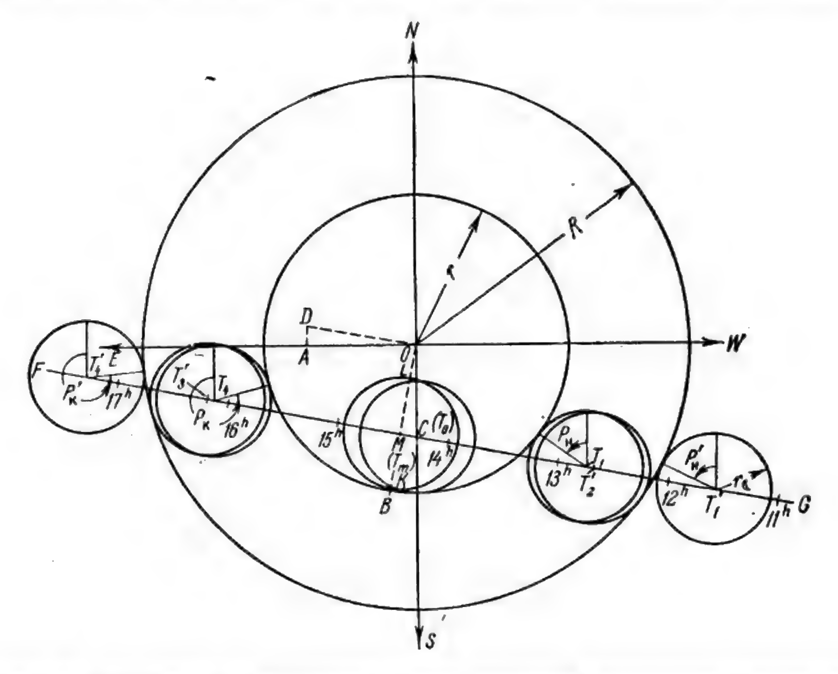


Рис. 53. Построение для графического способа определения обстоятельств лунного затмения 7 ноября 1957 г.

мы получим точки T_1' и T_4', в которых находится лунный диск в моменты вступления в полутень (T_1') и выхода из нее (T_4'). Эти точки получаются, если из центра O провести дуги радиусом $U = R + r_☾ = 88',3$. По масштабу времени определяем эти моменты: $T_1' = 11^h31^m,2$; $T_4' = 17^h22^m,3$, которые близки к вычисленным аналитически. Проведя через точки T_1' и T_4' радиусы, параллельные NS, измерим позиционные углы P между ними и направлениями из них (T_1' и T_4') к точке O (или к точкам касания лунного диска с полутенью); для начала полутеневого затмения $P_н' = 63°,0$; для конца полутеневого затмения $P_к' =$ $= 274°,5$.

Аналогично строятся положения лунного диска для внутренних контактов с полутенью (T_2' и T_3'), внешних контактов с тенью (T_1 и T_4), внутренних контактов с тенью (T_2 и T_3 на чертеже не показаны), середины затмения (T_m) и для мо-

мента геоцентрического противостояния (T_0). По масштабу времени и с помощью транспортира найдем:

$$T'_2 = 12^h\,37^m,2; \qquad T'_3 = 16^h\,16^m,1; \qquad T_1 = 12^h\,44^m,6; \quad T_4 = 16^h\,08^m,8;$$

$$P_н = 53°; \qquad P_к = 284°;$$

$$T_m = 14^h 25^m,9.$$

Даже при небольшом масштабе построения полученные значения T и P близки к вычисленным ранее.

Отметим на перпендикуляре OM точку L его пересечения с краем лунного диска (для наибольшей фазы) и продлим перпендикуляр до пересечения с другой точкой K края лунного диска и точкой B контура земной тени. Тогда наибольшая линейная теневая фаза $\Phi_m = \frac{LB}{KL}$. Измерив отрезок LB = 15,7 мм и зная, что $KL = 2r_{☾}$ = 15,1 мм, найдем $\Phi_m = 1{,}04$.

Подобные построения в случае необходимости могут быть проведены для любого момента затмения.

Границы видимости затмения легко могут быть определены по глобусу. Для этого находят географические координаты λ_z и φ_z места, в котором Луна в различные моменты затмения проходит через зенит: $\lambda_z = \lambda_{☾} - S_0$, $\varphi_z = \delta_{☾}$, где S_0 — гринвичское звездное время, $\alpha_{☾}$ и $\delta_{☾}$ — координаты Луны для тех же моментов времени.

Из найденных точек проводят окружности радиусом 90°; эти окружности и будут соответствующими предельными линиями, географические координаты точек которых снимаются с глобуса.

Положение края земной тени на лунном диске определяется селенографическими координатами: селенографической долготой λ и селенографической широтой β. Для этого нужно изобразить сетку селенографической системы координат в ортографической проекции. Лучше всего воспользоваться для этой цели ортографическими сетками для обработки наблюдений Солнца, прилагаемыми к данному Календарю (их нужно скопировать на кальку).

Так как радиус сетки равен 5 см, то радиус окружности, изображающей контур земной тени, должен быть равен $5 \cdot b$ см, где $b = \frac{r}{r_{☾}}$. Для лунного затмения 7 ноября 1957 г. $b = \frac{r}{r_{☾}} = 2{,}66$. Поэтому начертим на листе бумаги окружность радиусом $r = 5 \cdot 2{,}66 = 13{,}3$ см *) (рис. 54) и построим на том же чертеже путь Луны во время затмения, как это только что было объяснено **). На прямой FG наметим точки, отстоящие друг от друга на 10 мин времени. В эти точки мы будем помещать центр ортографической сетки при определении селенографических координат λ и β края земной тени на лунной поверхности в определенные моменты времени.

Вследствие либраций Луны по долготе и широте селенографические координаты λ_0 и β_0 видимого центра лунного диска колеблются в определенных пределах. Значения λ_0 и β_0 на начало суток (на 0^h всемирного времени) приводятся в разделе физических координат Луны астрономических ежегодников и календарей (в Астрономическом Ежегоднике СССР этот раздел называется: «Эфемериды для физических наблюдений Луны»). В этом же разделе приводится види-

*) На рис. 54 масштаб уменьшен в пять раз.

**) Если все предыдущее построение провести на большом листе бумаги и выбрать такой масштаб, при котором диск Луны изобразится кругом диаметром 10 см, то надобность в специальном вторичном построении отпадает.

мое положение проекции лунной оси на картинную плоскость, определяемое позиционным углом P, отсчитываемым от северной точки лунного диска против часовой стрелки. Поэтому ортографическую сетку следует выбирать в зависимости от значения β_0, а ориентировать ее — в соответствии со значением P.

Выпишем из Астрономического Ежегодника на 1957 г. значения β_0, λ_0 и P на 0^h 7 ноября и 8 ноября 1957 г.:

$$7 \text{ ноября}, \ 0^h \quad \beta_0 = -0^\circ{,}40; \quad \lambda_0 = -3^\circ{,}70; \quad P = 339^\circ{,}4;$$

$$8 \text{ ноября}, \ 0^h \quad \beta_0 = +1^\circ{,}08; \quad \lambda_0 = -4^\circ{,}42; \quad P = 342^\circ{,}9.$$

По этим данным найдем β_0, λ_0 и P на момент середины затмения $T_m = 14^h 26^m{,}7 \approx 14^h{,}5$; $\beta_0 = +0^\circ{,}5$, $\lambda_0 = -4^\circ{,}0$, $P = 341^\circ{,}5$ — все эти величины

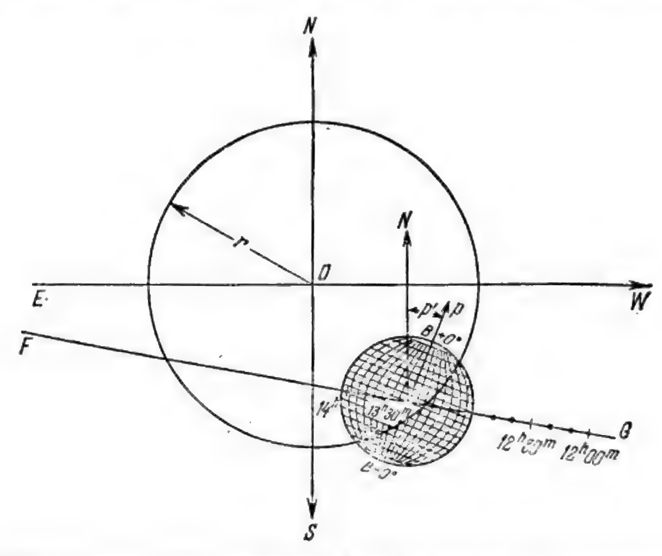


Рис. 54. Определение положения края земной тени на лунном диске при затмении Луны 7 ноября 1957 г.

округлены до $0^\circ{,}5$, так как большей точности отсчета ортографическая сетка не обеспечивает.

В соответствии с $\beta_0 = +0^\circ{,}5$ следовало бы выбрать ортографическую сетку. Но в прилагаемом наборе имеются сетки либо для $\beta_0 = +0^\circ$ (обозначена «$B + 0^\circ$»), либо для $\beta_0 = +1^\circ$ (обозначена «$B + 1^\circ$»). Можно воспользоваться любой из них, но в результаты измерений β следует внести поправку $\Delta\beta = \beta_0 - B$. При выборе сетки «$B + 0^\circ$» поправка $\Delta\beta = \beta_0 - B = +0^\circ{,}5 - 0^\circ = +0^\circ{,}5$. При выборе сетки «$B + 1^\circ$» поправка $\Delta\beta = \beta_0 - B = +0^\circ{,}5 - 1^\circ = -0^\circ{,}5$.

Выберем сетку «$B + 0^\circ$», т. е. $\Delta\beta = +0^\circ{,}5$.

Пусть нам требуется определить положение края земной тени на лунной поверхности в момент $T = 13^h 30^m$ по всемирному времени. Из точки на прямой FG, соответствующей заданному моменту времени $T = 13^h 30^m$, проводим прямую, параллельную NS. Направление этой прямой на север также обозначим через N. Наложим ортографическую сетку на чертеж и совместим ее центр с заданной точкой $T = 13^h 30^m$.

Центральный меридиан сетки изображает проекцию лунной оси, и поэтому его северный конец, отмеченный «$B + 0^\circ$», следует отклонить от направления на север N на угол $P = 341^\circ{,}5$, т. е. отклонить вправо (по часовой стрелке) на угол

$P' = 360° - 341°,5 = 18°,5$. При таком положении сетки по ее оцифровке отсчитываются координаты точек края земной тени: к северу от экватора сетки отсчитывается $\beta' > 0$ и к югу от экватора $\beta' < 0$; вправо, к западу, от центрального меридиана сетки отсчитывается $\lambda' > 0$ и влево, к востоку, $\lambda' < 0$.

Теперь необходимо исправить найденные координаты λ' и β' за смещение центра лунного диска вследствие либрации по долготе (λ_0) и неточности выбранной сетки (β_0):

$$\lambda = \lambda' - \lambda_0, \quad \beta = \beta' + \Delta\beta.$$

В нашем случае точка края земной тени, отмеченная крестиком (×), имеет $\lambda' = -30°,0$, $\beta' = -66°,0$ и, окончательно, $\lambda = -30°,0 + 4°,0 = -26°,0$; $\beta = -66°,0 + 0°,5 = -65°,5$.

Глава II

ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ

Практическая астрономия занимается вопросами определения географических координат места наблюдателя (т. е. широты и долготы), ориентировкой на местности (определение направления меридиана) и некоторыми вопросами Службы времени (определение поправки и хода часов). Бóльшая часть задач, решаемых практической астрономией, требует измерения вертикальных и горизонтальных углов с помощью угломерных инструментов — теодолита, универсального инструмента, или секстанта (прибор, измеряющий только высоты светил). Кроме одного из этих инструментов, наблюдатель должен иметь в своем распоряжении часы достаточно высокого качества.

Измеренные высоты светил наблюдатель должен исправлять за рефракцию земной атмосферы (см. таблицы 16а и 16б).

§ 1. Приближенные методы определения времени, широты и направления меридиана при помощи гномона

Для приближенного решения задач практической астрономии можно пользоваться древнейшим астрономическим прибором — *гномоном*. Простейший тип этого прибора представляет собой прямой стержень, вертикально установленный на горизонтальной площадке. Измерения длины и направления тени, отбрасываемой этим стержнем, позволяют определить направление меридиана (полуденной линии), широту и момент истинного полудня.

На рисунке 55, где изображен гномон, $KLMR$ — горизонтальная плоскость и CF — вертикально установленный стержень. Для определения направления полуденной линии проведем вокруг точки C окружность произвольного радиуса. С появлением над горизонтом Солнца стержень будет отбрасывать в западном направлении тень, которая начнет перемещаться по направлению к точке севера, постепенно укорачиваясь. (На рис. 55 траектория конца тени изображена прерывистой линией.) В какой-то момент длина тени станет равна радиусу окружности. Зафиксируем направление тени, отметив положение ее конца на окружности (точка A). Укоротившись в момент истинного полдня до наименьшей своей длины, тень стержня начнет удлиняться, двигаясь в восточном направлении, и в точке B ее конец вторично пересе-

чет окружность. Отметив положение точки B и проведя биссектрису угла ACB — линию CD, мы определим направление полуденной линии, так как видимый путь Солнца по небесной сфере симметрично расположен к западу и к востоку от небесного меридиана (это будет не совсем точно из-за непрерывного изменения склонения Солнца, но погрешность очень мала).

Рис. 55. Гномон.

Если в один из последующих дней отметить по часам момент, в который тень гномона ляжет вдоль полуденной линии, измерив при этом длину тени CE, то можно определить как поправку часов (см. § 5), так и широту места.

Широта определяется по формуле $\varphi = \delta + z$, где значения склонения Солнца δ берется из Переменной части Астрономического Календаря, а зенитное расстояние Солнца z вычисляется по формуле $\operatorname{tg} z = \frac{l}{d}$, где d — высота стержня CF и l — длина его тени.

§ 2. Определение направления меридиана

Направление меридиана в ночное время проще всего определить, пользуясь теодолитом, по Полярной звезде. При этом обычно находится не направление на север или на юг, а определяется азимут какого-либо земного предмета, видимого из точки наблюдения. Если такой азимут определен, то, пользуясь горизонтальным кругом теодолита, можно легко найти и направление меридиана.

Для облегчения определения азимута земного предмета по Полярной звезде в Переменной части Астрономического Календаря даются значения северо-восточных и северо-западных азимутов Полярной с точностью до 1′ по аргументам широты (от 35 до 70°) и звездного времени.

После нивелирования трубу теодолита наводят на земной предмет, затем на Полярную и (для контроля) снова на земной предмет. Во всех случаях производят отсчет по горизонтальному кругу теодолита, а при наблюдении Полярной отмечают также и время по часам.

Для вычисления азимута земного предмета по широте места и моменту времени (звездного) находят в АК значение азимута Полярной a. Этот азимут, как уже говорилось, может быть северо-восточным или северо-западным. В первом случае он счита-

ется положительным, во втором — отрицательным. Для получения астрономического азимута следует найти сумму 180° + + a. После этого вычисляют разность отсчетов «земной предмет минус Полярная» (для земного предмета берут среднее арифметическое из двух отсчетов) и прибавляют ее к астрономическому азимуту Полярной, получая при этом азимут земного предмета.

Пример. Для определения азимута земного предмета были произведены следующие наблюдения:

Объект	Отсчет по горизонтальному кругу	Момент по звездному времени
Земной предмет	153° 22′	
Полярная	49° 17′	17^h42^m
Земной предмет	153° 24′	

Приближенная широта места равна 50°, год 1973.

Находим по Переменной части АК на 1973 г. по аргументам $\varphi = 50°$ и $s = 17^h42^m$ северо-восточный азимут Полярной $a = 63'$.

Астрономический азимут Полярной равен 180° + 1° 03′ = 181° 03′.

Среднее из двух отсчетов земного предмета равно 153° 23′. Разность отсчетов «земной предмет минус Полярная» равна 153° 23′ — 49° 17′ = 104° 06′. Азимут земного предмета будет равен 181° 03′ + 104° 06′ = 285° 09′.

Легко понять, что азимут нулевого штриха на круге теодолита равен 285° 09′ — 153° 23′ = 131° 46′, откуда следует, что направлению на точку юга соответствует деление 360° — 131° 46′ = 228° 14′.

§ 3. Одновременное определение широты и долготы места

Среди существующих способов одновременного определения широты и долготы места наблюдения наибольшей простотой обладает графический способ, применяемый в мореходной и в авиационной астрономии. Этот способ основан на своеобразном применении кругов равных высот светил.

Проведем воображаемую линию от центра Земли по направлению к какому-нибудь светилу. Эта линия пересечет земную поверхность в точке, в которой светило будет видно в зените. Такая точка называется *географическим местом светила* (ГМС).

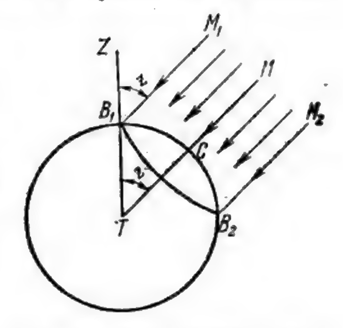


Рис. 56. Круг равных высот светила.

Если наблюдатель находится в точке B_1 земной поверхности (рис. 56), то он будет видеть светило на некотором зенитном расстоянии z, измеряемом углом ZB_1M_1. Но из рис. 56 видно, что $\angle ZB_1M_1 = \angle B_1TC$, т. е. что зенитное расстояние светила равно угловому расстоянию наблюдателя от ГМС (точки C). Отсюда следует, что если мы на земной поверхности проведем вокруг точки C малый круг сфери-

ческим радиусом CB_1, то в любой из точек этого круга светило будет наблюдаться на одном и том же зенитном расстоянии, равном дуге CB_1, соответствующей углу B_1TC. Такой круг называется *кругом равных высот* светила, так как в каждой его точке зенитные расстояния светила, а следовательно, и высоты светила одинаковы.

Чем ближе находится наблюдатель к ГМС, тем высота светила больше, а зенитное расстояние меньше. Из равенства зенитных расстояний сферическим радиусам кругов равных высот следует, что расстояние между двумя кругами равных высот для одной и той же точки поверхности в угловой мере равно разности соответствующих зенитных расстояний.

Предположим, что наблюдатель находится в некоторой точке земной поверхности, приближенные («счислимые») координаты которой φ_0 и λ_0 известны, например, с точностью до 1°. В момент T_n по времени часового пояса n наблюдатель измеряет высоту h какого-нибудь светила. Для этого же момента можно вычислить «счислимую» высоту светила $h_{сч}$ по формуле

$$\sin h_{сч} = \sin \varphi_0 \sin \delta + \cos \varphi_0 \cos \delta \cos t.$$

Экваториальные координаты светила δ и α можно взять из Переменной части Астрономического Календаря. С помощью Астрономического Календаря можно также вычислить момент по гринвичскому звездному времени S, соответствующий моменту T_n измерения высоты светила. Тогда часовой угол наблюдаемого светила вычисляется по формуле

$$t = S + \lambda_0 - \alpha.$$

Если измерялась высота Солнца, то его часовой угол вычисляется по формуле

$$t_{\odot} = T_n - n - \eta + \lambda_0 \pm 12^h,$$

где η — уравнение времени, которое тоже находится по Астрономическому Календарю.

Вычисление высоты светила $h_{сч}$ производится с точностью до 1′. Другую горизонтальную координату светила, его азимут, достаточно знать с точностью до 1°.

Азимут можно вычислить по формуле

$$\sin A = \sin (S + \lambda_0 - \alpha) \cos \delta \sec h_{сч}$$

или определить с помощью стереографической сетки (см. Добавление, задача 8). Значения sin и cos можно брать до третьего знака.

Предположим сначала, что вычисленная высота светила $h_{сч}$ оказалась равной измеренной высоте h. Это, конечно, не означает, что точка земной поверхности B_0 с координатами φ_0 и λ_0 является истинным местом наблюдения, но это указывает на

то, что точка B_0 была расположена в момент T_n на **том же** круге равных высот светила, что и истинное место наблюдения.

Провести на карте через точку B_0 круг равных высот светила на основе имеющихся данных не представляется возможным. Но можно построить в точке B_0 касательную к этому кругу. Для этого следует на географической карте поликонической проекции, не искажающей направлений на небольшой площади, провести через точку B_0 ее меридиан и, отложив от него угол, равный вычисленному азимуту светила, прочертить направление на ГМС, а затем провести в точке B_0 к этому направлению перпендикуляр K_1L_1 (рис. 57), который и будет касательной к кругу равных высот, проходящему через точку B_0. Эту линию называют *линией положения*, или *прямой равных высот*.

Можно считать, что в одной из точек прямой K_1L_1 находится действительное место наблюдателя, так как радиус круга равных высот очень велик (при высоте светила, меньшей 70°, этот радиус превышает 2000 км). Поэтому касательная к этому кругу на значительном расстоянии (не менее 100 км) практически совпадает с его дугой.

Рис. 57. Линия положения на карте.

Предположим теперь, что измеренная высота светила h не равна вычисленной высоте $h_{сч}$. Но расстояние между двумя кругами равных высот равно разности соответствующих высот. Следовательно, действительное место наблюдателя должно находиться на круге равных высот, отстоящем от круга равных высот, проходящего через точку B_0 на расстоянии $h - h_{сч} = \Delta h$ км (считая $1' = 1{,}852$ км). Легко понять, что в случае $h > h_{сч}$ наблюдатель должен находиться ближе к ГМС, чем точка B_0. Если же $h < h_{сч}$, то наблюдатель находится от ГМС дальше, чем точка B_0. На рис. 57 показан случай, когда $\Delta h > 0$, вследствие чего линия положения K_2L_2 смещена от точки B_0 в направлении к ГМС.

Таким образом, порядок работы, заканчивающийся прокладкой на карте линии положения, следующий:

а) В момент T_n по времени часового пояса n измеряют высоту светила h.

б) Для этого же момента, пользуясь Астрономическим Календарем и таблицами, вычисляют высоту $h_{сч}$ и азимут A светила, принимая приближенные значения географических координат φ_0 и λ_0.

в) Вычисляют разность $\Delta h = h - h_{сч}$ и переводят ее в километры.

г) На карте через точку с координатами φ_0 и λ_0 проводят меридиан и направление на ГМС (линию B_0C).

д) Если $\Delta h > 0$, то его откладывают по направлению на светило, или если $\Delta h < 0$, то в противоположном направлении; конец отложенного отрезка обозначают B_2.

е) На карте, перпендикулярно к направлению на светило, через точку B_2 прокладывают линию положения.

Пример. 12 ноября 1973 г. в момент $T_n = 4^h20^m$ по московскому времени была измерена высота h Капеллы, оказавшаяся равной 63° 22′; приближенные географические координаты наблюдателя: $\varphi_0 = 52°$ и $\lambda_0 = +48°$.

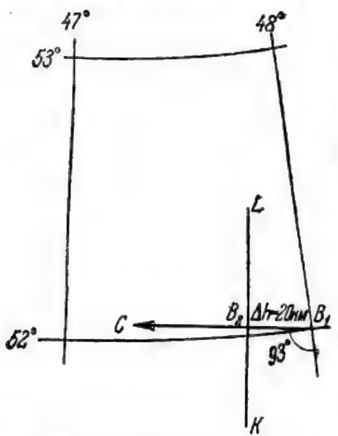


Рис. 58. Прокладка линии положения.

Требуется вычислить Δh и A и проложить на карте линию положения, в одной из точек которой должен находиться наблюдатель.

Обозначим: T_0 — всемирное время, s_0 — звездное гринвичское время в 0^h всемирного времени, Δs — изменение звездного времени за $1^h\ 20^m$ среднего времени, s — местное звездное время.

Вычисление часового угла Капеллы:

$T_n = 4^h\ 20^m$	$S = 71°\ 02'$	
$T_0 = 1^h\ 20^m$	$\lambda_0 = 48°$	
$S_0 = 3^h\ 23^m\ 54^s$	$s = 119°02'$	$\delta = +45°\ 58'$
$\Delta s = 1^h\ 20^m\ 13^s_4$	$\alpha = 78°\ 40'$	$\varphi_0 = 52°$
$S = 4^h\ 44^m\ 07^s$	$t = 40°\ 22'$	

Определение разности высот Δh и азимута Капеллы:

lg sin φ_1	9,8965		
lg sin δ	9,8567	$\sin h_{сч} = \mathrm{I} + \mathrm{II}$	0,8925
lg I	9,7532	$h_{сч}$	63° 11′
I	0,5665	h	63° 22′
		Δh	+ 11′
lg cos φ_1	9,7893	Δh	+ 20 км
lg cos δ	9,8420	A	93°
lg cos t	9,8819		
lg II	9,5132		
II	0,3260		

Прокладка линии положения по ее элементам $\Delta h = +20$ км и $A = 93°$ сделана на рис. 58. Если бы наблюдатель в момент измерения высоты светила находился на каком-нибудь линейном ориентире, изображенном на карте (например, на береговой линии реки или моря, на железнодорожном пути и т. п.), то одной линии положения было бы достаточно, чтобы определить истинное место наблюдения, так как этим местом, очевидно, являлась бы точка пересечения линии положения с линейным ориентиром. Но если такой ориентир отсутствует, то для получения на карте истинного места следует провести не одну, а две линии положения, в точке пересечения которых и будет, очевидно, истинное место наблюдения. Для этого следует измерить высоты двух светил, разность азимутов которых не менее 50° или не более 130° (см. табл. IX), или пронаблюдать светило

второй раз через промежуток времени, необходимый для того, чтобы азимут светила изменился на такую же величину.

Если на карте определено место наблюдения, то можно отсчитать и географические координаты этого места, т. е. его широту и долготу.

Точность определения широты и долготы с помощью изложенного способа больше всего зависит от точности, с которой измерены высоты светил, и от масштаба карты. Если высоты измеряются с точностью до 1′, то масштаб карты должен быть не меньше 1 : 500 000 (5 км в одном сантиметре). Только в этом случае можно рассчитывать получить широту и долготу с ошибкой, не превышающей 2′. Однако на точность определения φ и λ влияют также использованная длина линии положения, т. е. расстояние наблюдателя от точки B_2, и величина угла между линиями положения.

В табл. VIII дается допустимая длина линии положения, при которой расстояние круга равных высот от касательной к нему (т. е. линии положения) не превышает 2 км. Из табл. VIII видно, что эта длина l зависит от значения высоты светила h.

Таблица VIII

h	20°	40°	60°	70°	80°
l	530 км	350 км	240 км	190 км	130 км

Наименьшая ошибка в географических координатах места наблюдения получается в том случае, если две линии положения пересекаются под прямым углом. Если величину этой ошибки принять за единицу, то ошибки географических координат при углах, отличных от 90°, примут значения, указанные в табл. IX.

Таблица IX

Угол между линиями положения	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°
Относительные ошибки	1,00	1,02	1,06	1,15	1,31	1,56	2,0	2,9

§ 4. Определение широты места

Из многих способов определения широты места своей простотой отличается способ определения широты по Полярной звезде.

Так как широта места равна высоте полюса мира, а Полярная находится от полюса мира на расстоянии, меньшем 1°, то, измерив высоту Полярной, можно получить значение широты с ошибкой, не превышающей 1°. Для более точного определения широты в измеренную высоту Полярной следует ввести поправки, значения

которых даются с точностью до 1′ в переменной части Астрономического Календаря. Обозначаются эти поправки чаще всего: величина I, величина II и величина III.

Величина I может быть вычислена по формуле

$$\Delta\varphi_1 = -(90^\circ - \delta_\Pi)\cos t_\Pi^*$$

или, иначе,

$$\Delta\varphi_1 = -(90^\circ - \delta_\Pi)\cos(s - \alpha_\Pi),$$

откуда видно, что она является функцией склонения Полярной и звездного времени. Она может принимать значения от $(-90^\circ - \delta_\Pi)$ до $+(90^\circ - \delta_\Pi)$. Это дает изменение поправки I от −56′ до +56′.

Величина II является функцией звездного времени и широты места (высоты Полярной). Для интервала широт от 35 до 75° она по абсолютному значению не превосходит 1′,5. Величина III является функцией звездного времени и даты (дня года). По своему абсолютному значению она лишь в редких случаях достигает 1′.

Из сказанного видно, что если вводить в измеренную высоту Полярной только первую поправку («величину I») и пренебречь двумя другими поправками, широта получится с ошибкой, лишь в редких случаях превосходящей 2′.

Пример. В 1973 г. в момент по местному звездному времени 17^h34^m была измерена высота Полярной, оказавшаяся равной 53° 28′. Определить широту места.

Из Астрономического Календаря берем «величину I»: $\Delta h_1 = +32'$.

Вычисляем широту места: $\varphi = 53^\circ 28' + 32' = 54^\circ 00'$.

Сумма величин II и III не превосходит в данном случае −0′,3.

Если в месте наблюдения направление меридиана каким-либо способом определено, то широту места можно найти, измеряя высоту или зенитное расстояние звезды, находящейся в верхней или нижней кульминации. Широта вычисляется по формулам:

$$\varphi = \delta \pm (90^\circ - h) = \delta \pm z \qquad \text{(для верхней кульминации)}$$

(верхний знак берется, если светило кульминирует к югу от зенита),

$$\varphi = 90^\circ - \delta + h = 180^\circ - \delta - z \qquad \text{(для нижней кульминации).}$$

Вследствие того, что высоты светил близ их кульминаций изменяются медленно, ошибка в определении широты, происходящая из-за измерения высот не точно в моменты кульминаций звезд, сравнительно невелика.

§ 5. Служба времени любителя

При всех астрономических наблюдениях необходимо, с той или иной степенью точности, отмечать и записывать моменты времени наблюдаемых явлений. Для этой цели служат часы самых

разнообразных конструкций. На практике в распоряжении любителя чаще всего могут быть хорошие карманные часы с секундной стрелкой или без нее и — реже — хронометры.

Часы или хронометры могут идти либо по звездному времени, либо по среднему солнечному времени. В первом случае часы называют звездными, во втором — средними солнечными или просто средними часами. Какими бы часами любитель ни пользовался, необходимо помнить, что их показания T только случайно в какой-то момент могут совпадать с точным временем.

Разность между точным временем M, безразлично — звездным или средним солнечным, в какой-либо момент и показаниями часов T, соответственно в звездном или среднем времени, в этот же момент называется *поправкой часов* u, т. е.

$$u = M - T. \tag{2.1}$$

Отсюда

$$M = T + u. \tag{2.2}$$

Иными словами, поправка часов u есть та величина, которую следует прибавить к показаниям часов T, чтобы получить точное время M. Определение точного времени сводится, таким образом, к определению поправки часов.

Поправка часов u может быть отрицательной (показания часов T больше точного времени M — «часы ушли вперед») и положительной (показания часов T меньше точного времени M — «часы отстали»).

Поправка часов $u = 0$, если $T = M$, т. е. если часы показывают точное время.

Однако в силу технического несовершенства часы не могут идти вполне точно. Поэтому поправка не остается постоянной. Изменение поправки часов за определенный промежуток времени называется *ходом часов* ω.

Если показания часов в некоторые моменты были T_1, а их поправки соответственно u_1 и u_2, то ход часов

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1}. \tag{2.3}$$

Если промежуток времени $T_2 - T_1$ выражен в сутках, то ход часов называется *суточным*, если в часах — *часовым*, и т. д. Ход часов положителен, если их поправка с течением времени увеличивается, т. е. если $u_2 > u_1$ (часы «отстают»), и отрицателен, если их поправка с течением времени уменьшается, т. е. если $u_2 < u_1$ (часы «спешат»).

Если известен ход часов ω и поправка часов u_1 для момента T_1, то поправка часов u для любого предыдущего или последующего момента T согласно уравнению (2.3) будет:

$$u = u_1 + \omega (T - T_1). \tag{2.4}$$

Качество часов характеризуется не величиной их поправки и не величиной их хода, а равномерностью хода, его постоянством. Практически удобно иметь часы с небольшой поправкой и, особенно, с небольшим ходом. Если ход часов велик, то, передвигая регулятор часов, можно путем последовательных проб свести его к минимуму. Хорошие карманные часы можно отрегулировать так, чтобы их суточный ход не превышал 10 — 15 с.

Колебания хода часов в первом приближении можно считать ошибками случайного характера и при оценке достоинства часов применять теорию случайных ошибок. При этом достоинство часов будет выражено двумя величинами:

1) *Средним квадратическим уклонением* v отдельных ходов часов ω_i от их общего среднего $\omega_{ср}$

$$v = \pm \sqrt{\frac{\sum\limits_{1}^{n} \Delta\omega_i^2}{n-1}}, \qquad (2.5)$$

где $\Delta\omega_i = \omega_i - \omega_{ср}$, n — количество измерений, а

$$\omega_{ср} = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \cdots + \omega_n}{n}, \quad i = 1, 2, \ldots, n.$$

Чем меньше v, тем часы лучше, и наоборот. У хороших карманных часов с температурной компенсацией балансира величина v может быть около 2—3 с, у хороших хронометров она не превосходит $\pm 0{,}3$ с.

2) *Средней вариацией*, или просто вариацией хода ε_δ, равной среднему квадратическому из разностей смежных ходов, т. е.

$$\varepsilon_\delta = \pm \sqrt{\frac{\sum\limits_{1}^{n} \delta_i^2}{n}}, \qquad (2.6)$$

где $\delta_i = \omega_{i+1} - \omega_i$, $i = 1, 2, \ldots, n$. Чем меньше ε_δ, тем часы лучше.

Постоянство хода часов зависит от многих причин, но главным образом от температурных колебаний окружающей среды, от изменения положения часов и от времени их завода. Поэтому рекомендуется:

1) защищать часы от резких температурных колебаний;

2) носить и хранить часы всегда в одном положении (лучше всего заводной головкой вверх);

3) заводить часы *регулярно* в одно и то же время суток.

Под *службой времени* любителя следует понимать систематическое и регулярное определение любителем поправок своих часов с последующим вычислением их суточных или часовых ходов.

Поправку часов можно определить двумя путями:

А) из соответствующих астрономических наблюдений (см. гл. II, § 6), выполненных самим любителем. Это необходимо делать в тех случаях, когда надо знать поправку часов относительно точного местного времени, а географическая долгота места наблюдения неизвестна;

Б) из приема радиосигналов точного времени.

Московские радиовещательные станции передают сигналы точного времени — «шесть точек». Передаются они в конце каждого часа работы станции.

Начало каждой из «шести точек» является сигналом времени и соответствует 55, 56, 57, 58, 59 и 60-й секундам последней минуты соответствующего часа, т. е. их точные (программные) моменты следующие:

Начало	1-й	«точки»	$59^m 55^s$
»	2-й	»	59 56
»	3-й	»	59 57
»	4-й	»	59 58
»	5-й	»	59 59
»	6-й	»	59 60

Прием сигналов поверки времени может быть осуществлен с помощью любого радиовещательного приемника или радиотрансляционной точки.

Прием производится на слух следующим образом. Радиоприемник настраивается на длину волны радиостанции, передающей сигналы поверки времени. Слушая сигналы, надо заметить и записать показания своих часов в момент передачи какого-либо определенного сигнала. Замечать и записывать надо сначала секунды и их доли, а затем минуты и часы.

Если часы имеют секундомер, то эта операция значительно облегчается. В этом случае надо пустить секундомер в ход в нулевую секунду по часам, незадолго до передачи сигналов, и остановить его в момент приема соответствующего радиосигнала. Показания секундомера дадут тогда целые секунды и их доли.

Вычитая затем из программного момента передачи сигнала записанные показания своих часов, получим их поправку относительно московского декретного времени.

П р и м е р. В 10 часов по московскому декретному времени были приняты сигналы поверки времени. В моменты передач первой и шестой «точек» записаны показания часов:

$$9^h\,53^m\,20^s{,}3 \quad \text{и} \quad 9^h\,53^m\,25^s{,}5.$$

Отсюда поправка часов:

$$u_1 = 9^h\,59^m\,55^s - 9^h\,53^m\,20^s{,}3 = +6^m\,34^s{,}7$$
$$u_6 = 10^h\,00^m\,00^s - 9^h\,53^m\,25^s{,}5 = +6^m\,34^s{,}5$$

Среднее $u = +6^m\,34^s{,}6$

Хотя сигналы поверки времени передаются с большой точностью (их ошибки меньше $\pm 0,05$ с), тем не менее прием на слух позволяет определять поправку своих часов с точностью до 0,5 с (в лучшем случае до $0^s,1$—$0^s,2$).

§ 6. Определение времени и долготы из наблюдений

Если широта места известна, то поправку часов выгоднее всего определять по измерениям высоты светила, азимут которого близок к 90° или к 270°, т. е. когда светило наблюдается на востоке или на западе. Допускаются отклонения от этих азимутов в пределах $\pm 30°$. Момент измерения высоты светила отмечается по часам. По формуле

$$\cos t = \frac{\sin h - \sin\varphi \sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta} = \frac{\cos z}{\cos\varphi\cos\delta} - \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\delta = A\cos z - B,$$

или (если часовой угол звезды сравнительно близок к нулю или 180°) по формуле

$$\sin^2\frac{t}{2} = \frac{\cos(\varphi-\delta)}{2\cos\varphi\cos\delta} - \frac{\cos z}{2\cos\varphi\cos\delta} = C - D\cos z$$

вычисляют значение часового угла t, после чего можно найти и звездное время, равное сумме часового угла и прямого восхождения светила, $s = t + \alpha$.

Для логарифмического вычисления удобно пользоваться формулой

$$\sin^2\frac{t}{2} = \frac{\cos(\varphi-\delta)}{2\cos\varphi\cos\delta}\left[1 - \frac{\cos z}{\cos(\varphi-\delta)}\right].$$

Следует помнить, что если светило наблюдалось на востоке, то $90° < \frac{1}{2}t < 180°$, а если на западе, то $0° < \frac{1}{2}t < 90°$.

Если часы, по которым был отмечен момент измерения высоты светила, — звездные, то поправка часов находится по формуле

$$u = s - T.$$

Если же часы — средние и идут по поясному времени, то надо перейти от звездного времени s (или непосредственно от часового угла в случае, если наблюдалось Солнце) к поясному времени $T_п$. В этом случае поправка часов будет равна

$$u = T_п - T.$$

В тех случаях, когда долгота места наблюдения неизвестна, поправка часов может быть определена только относительно местного времени (звездного или среднего солнечного). Зная эту поправку, можно определить и долготу места при условии, если известна также поправка (тех же часов) относительно времени меридиана с известной долготой. Эта последняя поправка определяется в настоящее время по радиосигналам времени.

Обозначим через T_0 показания часов в момент приема сигналов времени и через T — момент определения поправки часов из астрономических наблюдений. Так как эти моменты различны, полученную по радиосигналам поправку u_0 необходимо привести к моменту T по формуле (2.4), в которой значение хода часов ω может быть определено, если радиосигналы времени приняты два раза: до и после астрономических наблюдений.

Обозначим поправку часов, определенную по астрономическим наблюдениям, через u_2 и воспользуемся для определения долготы места известным положением: разность долгот равна разности местных времен, т. е.

$$\lambda_2 - \lambda_1 = (T + u_2) - (T + u_1) = u_2 - u_1,$$

где λ_2 — искомая долгота, а λ_1 — долгота меридиана, по времени которого передаются радиосигналы.

Пример. Радиосигналы времени, передаваемые в 12^h по времени III часового пояса, были приняты в $11^h58^m18^s$ по часам наблюдателя. Поправка часов u_2, определенная по астрономическим наблюдениям в 14^h28^m по тем же часам, оказалась равной $+1^h16^m30^s$. Часовой ход часов наблюдателя $\omega = -0^s,4$. Определить долготу места наблюдения.

Поправка часов в момент 14^h28^m относительно меридиана с долготой, равной 3^h, равна

$$u_1 = +1^m\,42^s - 0^s,4 \cdot 2,5 = +1^m\,41^s.$$

Долгота места наблюдения равна

$$\lambda = 3^h\,00^m + 1^h\,16^m\,30^s - 1^m\,41^s = 4^h\,14^m\,49^s.$$

ДОБАВЛЕНИЕ К ГЛАВАМ I и II

Приближенное решение некоторых задач сферической и практической астрономии с помощью стереографической сетки

Стереографическая сетка (см. приложение II) представляет собой проекцию меридианов и параллелей сферической поверхности на плоскость одного из ее меридианов, называемого в этом случае о с н о в н ы м. Центром проекции является точка экватора сферы, удаленная от основного меридиана на 90°. Меридианы и параллели проведены через каждые 2°.

Стереографическая проекция обладает тем важным свойством, что дуга любого круга на сфере изображается в этой проекции также дугой круга. Одна и та же стереографическая сетка может изображать оба полушария сферы.

Для определенности на сетке вводятся следующие названия: окружность сетки ($P_1Q_2P_2Q_1$) называется ее *основным меридианом*; точки, в которых сходятся все меридианы сетки, называются *полюсами сетки* P_1 и P_2; диаметр P_1P_2, проходящий через полюсы сетки, называется ее *осью*; диаметр Q_1Q_2, перпендикулярный к оси сетки, называется *экватором сетки*.

Стереографическая сетка позволяет весьма просто и быстро решать ряд задач сферической и практической астрономии, геодезии и картографии, если решение этих задач может ограничиться точностью в 0°,5—1°, что часто на практике бывает вполне достаточным.

В зависимости от характера поставленной задачи плоскость основного меридиана стереографической сетки может изображать собой плоскость различных кругов небесной сферы. Так, в одном случае она может изображать плоскость небесного меридиана; тогда экватор сетки будет изображать проекцию истинного горизонта, ось сетки — отвесную линию и проекцию первого вертикала, полюсы сетки изобразят зенит и надир; точки востока и запада совпадут с центром сетки, отмеченным четырьмя точками; точки юга и севера будут лежать на пересечении экватора сетки с ее основным меридианом.

В другом случае основной меридиан сетки может тоже изображать небесный меридиан, но ее экватор может служить небесным экватором; тогда полюсы сетки явятся полюсами мира,

ее ось — осью мира, а точки юга и севера будут отстоять от небесного экватора на расстоянии 90° — φ, где φ — географическая широта места наблюдения.

Можно представить себе основной меридиан выполняющим роль истинного или математического горизонта. Тогда зенит и надир спроектируются в центр сетки, а точки юга, востока, севера и запада — в концевые точки оси и экватора сетки. В этом случае полюс мира будет лежать на расстоянии, равном 90° — φ от центра сетки.

Возможны проекции и на плоскость других больших кругов небесной сферы.

При графическом решении задач с помощью стереографической сетки все необходимые построения делаются не на самой сетке, а на листе кальки или прозрачной бумаги. Лучше всего начертить на кальке окружность радиусом, равным радиусу сетки, и нанести на ней центр окружности и два взаимно-перпендикулярных диаметра. В дальнейшем такую скопированную окружность будем называть «калькой». Для определенности полезно один из проведенных диаметров окружности назвать диаметром кальки (R_1R_2), другой — осью кальки ($П_1П_2$), а концевые точки оси — полюсами кальки ($П_1$ и $П_2$).

Приведем ряд примеров на применение стереографической сетки в астрономии, часть которых взята из брошюры проф. Г. В. Вульфа *). На всех рисунках, иллюстрирующих применение стереографической сетки, жирными и прерывистыми линиями показаны построения на кальке, а тонкими — просвечивающие сквозь кальку круги стереографической сетки (меридианы и параллели), которые на рисунках показываются далеко не все, а только необходимые для иллюстрации данной задачи.

1. *Определение углового расстояния между двумя точками с заданными сферическими координатами.* Данная задача постоянно решается при определении угловых расстояний между звездами и между точками земной поверхности, в частности, при прокладке курса кораблей и самолетов. Наикратчайшим расстоянием между двумя точками сферы является дуга большого круга, проходящего через эти точки, которая на земной поверхности называется *ортодромией* и строится по географическим координатам пунктов отправления B (λ_1, φ_1) и назначения C (λ_2, φ_2) корабля (самолета).

Примем полюс P_1 стереографической сетки за северный географический полюс Земли, а экватор Q_1Q_2 сетки — за земной экватор. Тогда все большие круги сетки изобразят географические меридианы, а все параллели сетки — земные параллели. Наложим кальку на сетку так, чтобы их полюсы $П_1$ и P_1 и эк-

---

*) Вульф Г. В. Способ графического решения задач по космографии и математической географии. — Нижний Новгород, 1909.

ваторы R_1R_2 и Q_1Q_2 соответственно совместились (рис. 59), и от точки Q_1 экватора отложим по окружности дугу φ_1, равную географической широте первого пункта B земной поверхности. При $\varphi_1 \geqslant 0°$ дуга φ_1 откладывается в сторону северного полюса P_1, а при $\varphi_1 < 0°$ — в сторону южного полюса P_2. Далее вычислим в градусной мере разность $\Delta\lambda$ географической долготы λ_1 и λ_2 заданных пунктов B и C так, чтобы

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 < 180° \text{ или } \Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 < 180°,$$

и отложим ее по экватору сетки от точки Q_1. Затем по большому кругу сетки, проходящему через конец n дуги $\Delta\lambda$, отложим значение φ_2 географической широты второго пункта C. Повернув

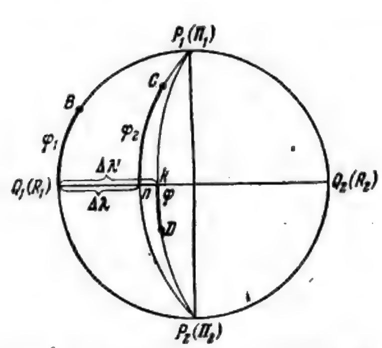


Рис. 59. Использование стереографической сетки для решения задач 1 и 2.

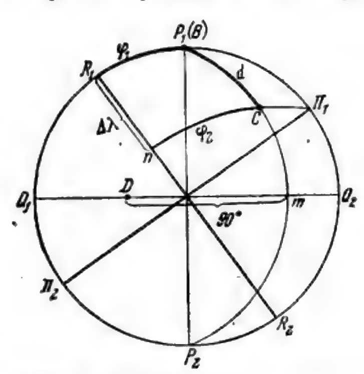


Рис. 60. Использование стереографической сетки для решения задач 1, 2 и 3.

кальку вокруг ее центра до совмещения точки B с полюсом сетки P_1 (рис. 60), измерим в градусах искомое расстояние $d = BC$ по дуге большого круга сетки, проходящего через обе точки B и C.

Подразумевая под φ_1 и φ_2 склонения δ_1 и δ_2 (высоты h_1 и h_2, эклиптические широты β_1 и β_2, галактические широты b_1 и b_2) двух звезд B и C, а под λ_1 и λ_2 их прямые восхождения α_1 и α_2 (часовые углы t_1 и t_2, азимуты A_1 и A_2, эклиптические долготы λ_1 и λ_2, галактические долготы l_1 и l_2), найдем аналогичным приемом угловое расстояние d между этими звездами.

2. *Определение положения полюсов заданного большого круга.* Пусть требуется определить положение полюсов D и D' большого круга, проходящего через две точки сферы B и C с координатами $B(\lambda_1, \varphi_1)$ и $C(\lambda_2, \varphi_2)$.

Полюсами большого круга называются точки, отстоящие от любой точки этого круга на 90°.

По координатам точек $B(\lambda_1, \varphi_1)$ и $C(\lambda_2, \varphi_2)$ строим на кальке дугу BC (см. задачу 1) и находим точку m пересечения с экватором сетки либо самой дуги BC, либо ее продолжения (см. рис. 60). От точки m откладываем по экватору сетки 90° и тем самым нахо-

дим один полюс D большого круга, проходящего через точки B и C. Возвратив кальку в исходное положение, отсчитаем от экватора Q_1Q_2 сетки по ее меридиану, проходящему через полюс D, одну искомую координату $\varphi = kD$ этого полюса, а по экватору сетки — дугу $\Delta\lambda' = Q_1k$ (см. рис. 59), по которой вычисляем другую координату полюса, $\lambda = \lambda_1 + \Delta\lambda'$.

Координаты второго полюса D' равны

$$\lambda' = \lambda + 180^\circ \text{ и } \varphi' = -\varphi.$$

3. *Отыскание экватора для заданного полюса.* Экватором какого-нибудь полюса называется большой круг, все точки которого отстоят от полюса на 90°.

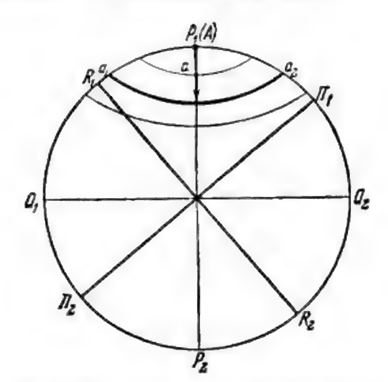


Рис. 61. Использование стереографической сетки для решения первой части задачи 4.

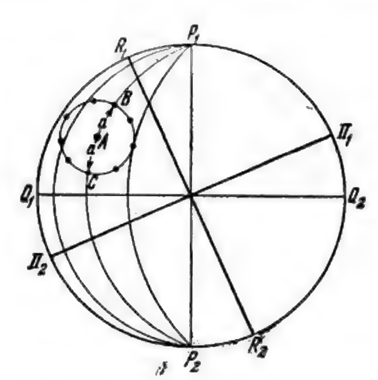


Рис. 62. Использование стереографической сетки для решения второй части задачи 4.

Нанесем на кальку заданную точку — полюс D, наложим кальку на стереографическую сетку и повернем ее вокруг центра сетки так, чтобы точка D оказалась на экваторе сетки (см. рис. 60). От этой точки по экватору сетки отложим отрезок (на самом деле являющийся дугой), равный 90°, и скопируем на кальку тот меридиан стереографической сетки, который проходит через конец отложенного отрезка — точку m. Полученная на кальке дуга большого круга P_1CP_2 представляет дугу искомого экватора.

4. *Построение окружности заданного углового радиуса вокруг данной точки.* Если данная точка A лежит на самой окружности кальки (рис. 61), то, поворачивая кальку вокруг центра стереографической сетки, совмещаем данную точку A с полюсом P_1 сетки и копируем параллель, проходящую на заданном расстоянии a от полюса. Полученная параллель a_1a_2 будет дугой искомой окружности. Если данная точка A лежит внутри окружности кальки (рис. 62), то, вращая, как и в предыдущем случае, кальку, приводим точку A на какой-либо меридиан сетки, по которому находим две точки, B и C, отстоящие от точки A

на заданном расстоянии *a*. Поворачивая кальку дальше, приводим точку *A* на другой меридиан и снова отмечаем две точки на заданном расстоянии *a* от нее. Повторяя подобную операцию несколько раз, можно получить любое число точек, которые затем соединяются плавной линией и дают искомую окружность заданного радиуса *a*.

5. *Построение сферического треугольника по трем данным точкам на сфере и измерение его сторон и углов.* Нанеся на кальку три заданные точки *A*, *B* и *C* (рис. 63), поворачиваем ее по стереографической сетке так, чтобы две точки, например *A* и *B*, попали на какой-либо меридиан сетки. Скопировав на кальку дугу этого меридиана между точками *A* и *B*, получим одну сторону *c* сферического треугольника, которую измеряем по дуге того же меридиана сетки. Поворачивая кальку дальше, аналогично поступаем с первой и третьей точками (*A* и *C*), а затем со второй и третьей (*B* и *C*). Полученный треугольник *ABC* будет являться стереографической проекцией искомого сферического треугольника.

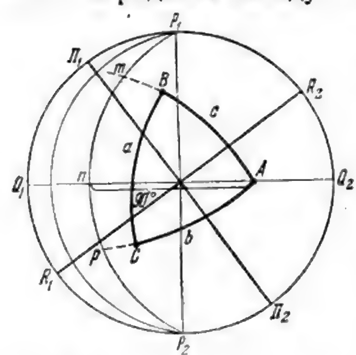


Рис. 63. Использование стереографической сетки для решения задачи 5.

Чтобы измерить углы сферического треугольника, нужно, поворачивая кальку вокруг центра сетки, поместить вершину измеряемого угла *A* на экватор сетки и отсчитать от нее по экватору 90°. Через полученную таким образом точку экватора *n* следует провести дугу меридиана *mnp*, скопировав ее со стереографической сетки. Дуга меридиана проводится до пересечения в точках *m* и *p* со сторонами треугольника *b* и *c*, образующими угол *A*, мерой которого служит дуга *mp*, измеряемая по меридиану сетки. Если при построении дуга меридиана не пересечет стороны треугольника, то сторону следует продлить до пересечения с этой дугой (на рисунке стороны треугольника *b* и *c* продлены до пересечения с дугой *mp* меридиана сетки).

6. *Построение сферического треугольника по трем его сторонам.* Пусть заданы три стороны *a*, *b* и *c* сферического треугольника. Наложив кальку на стереографическую сетку, поместим одну из вершин сферического треугольника (например, вершину *A*) в полюс сетки P_1 (рис. 64) и от нее по окружности кальки отложим заданную величину стороны *b*. Получим другую вершину *C* треугольника; дуга *AC* будет являться его стороной *b*. Затем копируем параллель сетки *mn*, отстоящую от вершины *A* (полюса сетки P_1) на расстоянии, равном второй стороне *c*, и вращаем кальку вокруг центра сетки до совмещения вершины *C* с полюсом сетки P_1 (рис. 65). Пользуясь системой меридианов сетки, находим

на скопированной параллели mn точку B, отстоящую от вершины C на расстоянии, равном третьей стороне a треугольника. Полученная точка B будет третьей вершиной сферического треугольника. Далее, скопируем дугу CB меридиана, проходящего через вершины C и B; получим третью сторону a искомого треугольника. После этого поворотом кальки снова совмещаем вершину

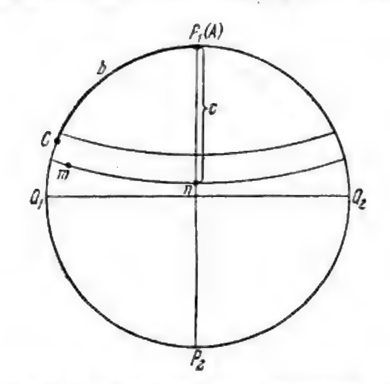


Рис. 64. Использование стереографической сетки для решения задачи 6.

Рис. 65. Использование стереографической сетки для решения задачи 6.

A с полюсом P_1 сетки (рис. 66) и копируем дугу AB меридиана, проходящего через вершины A и B: эта дуга является второй стороной c искомого сферического треугольника. Так осуществляется построение сферического треугольника по трем заданным его сторонам a, b и c.

7. *Определение экваториальных координат светила по его горизонтальным координатам.* Задача сводится к определению t и δ светила по его h и A и к вычислению значения звездного времени s в заданный момент T. Значение s вычисляется весьма просто, и мы будем полагать его известным (см. с. 21).

Координаты t и δ (по h и A) определяются с помощью стереографической сетки следующим образом. Примем основной меридиан сетки за небесный меридиан, ее экватор Q_1Q_2 за истинный горизонт и полюсы P_1 и P_2 за зенит Z_1 и надир Z_2. Тогда меридианы стереографической сетки будут изображать круги высоты (вертикалы), а ее параллели — круги равных высот (альмукантараты).

Рис. 66. Использование стереографической сетки для решения задачи 6.

Наложим на сетку кальку, совместим ее полюсы Π_1 и Π_2 с полюсами сетки P_1 и P_2 (рис. 67), отметим на ней точки севера (N) и юга (S) и, пользуясь просвечивающей сквозь кальку сет-

кой, отложим от точки юга (S) по истинному горизонту (экватору кальки) значение заданного азимута A. Если $A > 180°$, то нужно откладывать его дополнение до 360°. От полученной на истинном горизонте точки n отложим по кругу высоты (по меридиану сетки), проходящему через эту точку, значение h. При $h > 0°$ его значение откладывается вверх, в сторону P_1 (зенита Z_1), при $h < 0°$ — вниз, в сторону P_2 (надира Z_2). Таким образом, на кальке отметим точку M, изображающую светило с заданными координатами h и A.

Теперь будем рассматривать сетку как стереографическую проекцию экваториальной системы координат t и δ на плоскость

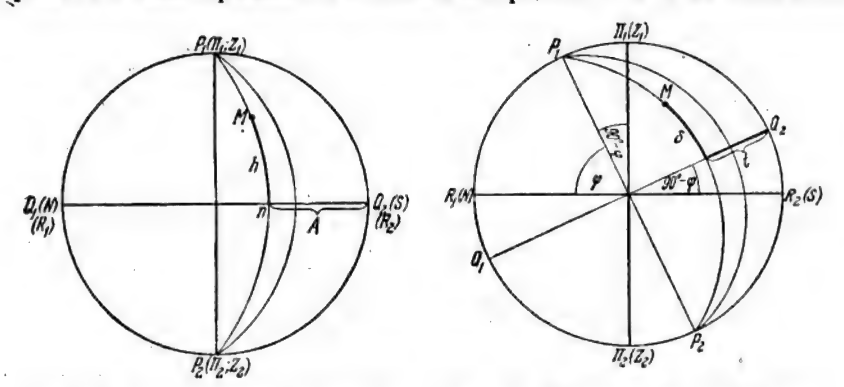


Рис. 67. Использование стереографической сетки для решения задач 7 и 8.

Рис. 68. Использование стереографической сетки для решения задач 7 и 8.

небесного меридиана. В этом случае P_1 и P_2 будут полюсами мира, а экватор сетки Q_1Q_2 — небесным экватором. Так как высота h_p полюса мира над истинным горизонтом (над точкой севера N) равна географической широте места φ, то нужно повернуть кальку вокруг центра сетки по часовой стрелке на угол $90° - \varphi$ (рис. 68). В этом случае полюсы кальки Π_1 и Π_2 будут по-прежнему изображать зенит Z_1 и надир Z_2, а полюсы мира P_1 и P_2 будут отстоять от них на угол $90° - \varphi$. Такой же угол будет между истинным горизонтом (экватором кальки) и небесным экватором (экватором сетки).

Пользуясь меридианами стереографической сетки как кругами склонения, отсчитаем склонение δ точки M (заданного светила) от небесного экватора и ее часовой угол t от точки Q_2 небесного меридиана по экватору. Если A был более 180°, то и t будет больше 180°, и, следовательно, в этом случае полученное значение t следует вычесть из 360°.

Зная дату и время наблюдения T, определяем звездное время s в данный момент и прямое восхождение светила $\alpha = s - t$.

8. *Определение горизонтальных координат светила по его экваториальным координатам*. Эта задача является обратной предыдущей. На интересующий нас момент времени T вычисля-

ется звездное время s и определяется часовой угол светила $t = s - \alpha$. Значение t выражается в градусной мере.

Рассматривая стереографическую сетку как систему экваториальных координат, принимаем экватор сетки Q_1Q_2 за небесный экватор, накладываем кальку на сетку так, чтобы северный полюс мира P_1 отстоял от точки севера (N) на угол φ, и отмечаем на кальке точку M (светило) с заданными координатами δ и t (см. рис. 68). Повернув кальку против часовой стрелки, совместим ее экватор R_1R_2 с экватором сетки Q_1Q_2. Рассматривая сетку как систему горизонтальных координат, отсчитываем от истинного горизонта NS (экватора сетки Q_1Q_2) по кругу высоты (меридиану сетки), проходящему через точку M, высоту h этой точки. Если точка M находится над истинным горизонтом, то высота $h > 0°$; в противном случае $h < 0°$. Азимут точки M отсчитывается по истинному горизонту NS от точки юга (S) до основания n ее круга высоты (рис. 67). Правило направления отсчета t и A остается прежним (см. задачу 7).

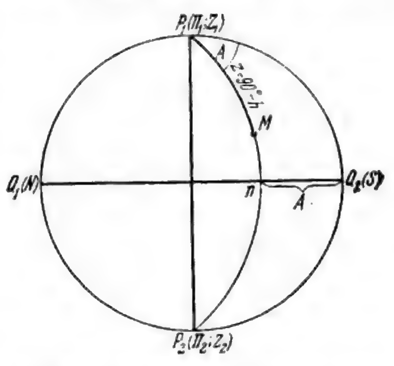


Рис. 69. Использование стереографической сетки для решения задачи 9.

9. *Построение параллактического треугольника.* Параллактический треугольник (см. § 8, гл. I) применяется в астрономии для перевода координат h и A в δ и t (и обратно) аналитическим способом. Графический способ определения δ и t по h и A (и обратное определение) с помощью стереографической сетки описан в задачах 7 и 8 и не требует обязательного построения самого параллактического треугольника.

Здесь же рассматривается построение этого треугольника для уяснения его расположения на небесной сфере.

Пусть заданы горизонтальные координаты светила M, высота h и азимут A, для какого-либо места наблюдения с географической широтой φ.

Наложим кальку на стереографическую сетку так, чтобы полюсы Π_1 и Π_2 кальки совпали с полюсами P_1 и P_2 сетки (рис. 69). Рассматривая сетку как горизонтальную систему координат, наметим на кальке точки юга (S) и севера (N) и от точки юга Q_2 (S) отложим по экватору сетки (являющемуся в данном случае истинным горизонтом) дугу, равную A. Найдем тот меридиан сетки (круг высоты), который проходит через конец n дуги азимута, и по нему отложим от зенита Z_1 (Π_1; P_1) дугу $z = 90° - h$. Конечная точка этой дуги является светилом M. Скопируем на кальку дугу $z = \Pi_1 M$ и повернем кальку вокруг центра сетки по часовой стрелке на угол $90° - \varphi$; тогда дуга (N) $P_1 = \varphi$. Дугу $P_1\Pi_1 = 90° - \varphi$ скопируем на кальку (рис. 70).

Рассматривая теперь сетку как экваториальную систему координат, скопируем на кальку дугу P_1M меридиана сетки, являющегося в этом случае кругом склонения. Эта дуга $P_1M = p = 90° - \delta$. Значение p легко измерить по дуге круга склонения, а продлив ее до небесного экватора (экватор сетки Q_1Q_2), можно если это требуется, измерить по экватору часовой угол $t = Q_2m$. Полученный на кальке треугольник $P_1\Pi_1M$ является п а р а л л а к т и ч е с к и м.

Можно построить параллактический треугольник, исходя из заданных значений φ места наблюдения и t и δ светила. Порядок построения будет обратным только что разъясненному и аналогичен построению, проведенному в задаче 8.

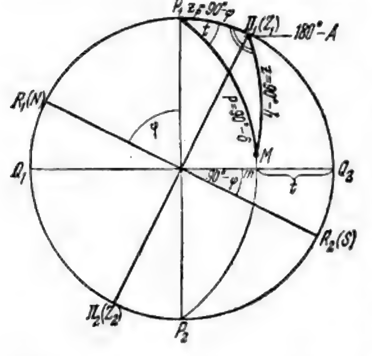


Рис. 70. Использование стереографической сетки для решения задачи 9.

10. *Определение эклиптических координат светила по его экваториальным координатам.* Аналитически переход от α и δ к λ и β осуществляется через сферический треугольник, вершинами которого служат полюс мира, полюс эклиптики и данное светило, а из трех углов два имеют значение соответственно $90° - \lambda$ (при полюсе эклиптики) и $90° + \alpha$ (при полюсе мира) (см. § 8, гл. I).

Определение приближенных значений λ и β по стереографической сетке не требует построения сферического треугольника. Примем основной меридиан сетки за круги склонения с прямым восхождением $\alpha = 90°$ и $\alpha = 270°$; плоскость этих кругов перпендикулярна к линии пересечения плоскости небесного экватора с плоскостью эклиптики (линия узлов небесного экватора). На этой линии узлов лежат точки весеннего (♈) и осеннего (♎) равноденствий, которые в этом случае проектируются в центр стереографической сетки. Примем, что точка весеннего равноденствия ♈ лежит «над центром» сетки; тогда счет прямых восхождений α по небесному экватору и счет эклиптических долгот λ по эклиптике следует вести от центра сетки вправо (до 90°), далее «за сетку» влево (от 90° до 270°) и затем от левой полуокружности основного меридиана (270°) вправо до центра сетки (360°).

Рассматривая стереографическую сетку как экваториальную систему координат, нанесем на кальку точку M с координатами α и δ (рис. 71). Для этого совместим экватор кальки R_1R_2 с экватором сетки Q_1Q_2 (полюсы кальки Π_1 и Π_2 совпадут с полюсами сетки P_1 и P_2) и от центра сетки (точка ♈) отложим по ее экватору Q_1Q_2, изображающему небесный экватор, отрезок, равный заданному прямому восхождению α, выраженному в градусах. Помня правило счета α и λ на сетке, приходим к выводу, что при

$\alpha \leqslant 90°$ следует отложить от точки ♈ вправо по экватору отрезок $\alpha' = \alpha$; при $90° < \alpha \leqslant 180°$ от точки ♈ вправо откладывается отрезок $\alpha' = 180° - \alpha$; при $180° < \alpha \leqslant 270°$ отрезок α' откладывается от центра сетки влево, и его величина $\alpha' = \alpha - 180°$; наконец, при значениях $270° < \alpha < 360°$ влево от центра сетки откладывается отрезок $\alpha' = 360° - \alpha$.

Далее, по меридиану сетки (кругу склонения), проходящему через конец n отложенного отрезка, отсчитываем заданное значение δ и отмечаем на этом круге склонения точку M, которая изобразит светило с координатами α и δ.

После этого повернем кальку по часовой стрелке на угол $\varepsilon = 23°,5$ и будем рассматривать сетку как эклиптическую систему

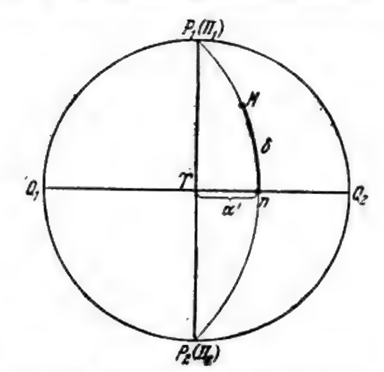


Рис. 71. Использование стереографической сетки для решения задач 10 и 11.

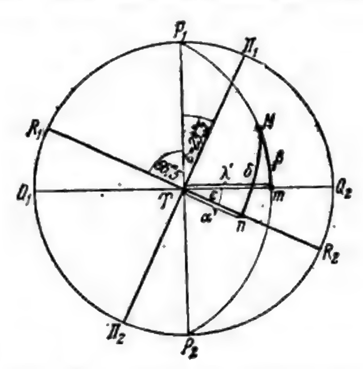


Рис. 72. Использование стереографической сетки для решения задач 10 и 11.

координат. В этом случае экватор сетки Q_1Q_2 изобразит эклиптику, полюсы P_1 и P_2 — полюсы эклиптики, а меридианы сетки — круги широты (рис. 72).

Полюсами мира теперь будут полюсы кальки $П_1$ и $П_2$, а небесным экватором — экватор кальки R_1R_2.

По кругу широты, проходящему через точку M (светило), определяем ее эклиптическую широту β, а по расстоянию λ' основания m этого круга широты от центра сетки (точки ♈) — эклиптическую долготу λ, причем λ' связано с λ теми же соотношениями, что и α' с α (см. выше).

11. *Определение экваториальных координат светила по его эклиптическим координатам.* Определение экваториальных координат α и δ светила по его эклиптическим координатам λ и β представляет собой задачу, обратную предыдущей (см. задачу 10).

Калька накладывается на сетку так, чтобы полюс сетки P_1 отстоял от точки R_1 экватора кальки на $66°,5$, что соответствует удалению P_1 от $П_1$ на $23°,5$. Рассматривая экватор сетки Q_1Q_2 как эклиптику, а меридианы сетки как круги широты, наносим на кальку точку M с заданными координатами λ и β, помня при

этом, что λ откладывается по тому же правилу, что и α в экваториальной системе координат (см. задачу 10), а β — в зависимости от ее знака (рис. 72).

Поворотом кальки против часовой стрелки на 23°,5 совмещаем экватор кальки с экватором сетки (полюсы $П_1$ и $П_2$ кальки с полюсами P_1 и P_2 сетки) и, принимая сетку за экваториальную систему координат, отсчитываем от небесного экватора Q_1Q_2 склонение δ, а от точки весеннего равноденствия ♈ (центр сетки)— прямое восхождение α точки M. Значение α лежит в том же квадранте (четверти круга), что и λ (см. задачу 10).

12. *Определение галактических координат светила по его экваториальным координатам.* Перевод экваториальных координат α и δ светила в галактические координаты l и b производится аналитически с помощью сферического треугольника, вершинами которого являются полюс мира, галактический полюс и данное светило (см. § 8, гл. I). Стереографическая сетка позволяет осуществить перевод α и δ в l и b (и обратно) без построения самого треугольника и вычисления его сторон.

При переходе от одной системы координат к другой следует помнить о существенном отличии в отсчете прямого восхождения α и галактической долготы l (см. § 3. гл. I).

Примем стереографическую сетку за экваториальную систему координат (см. задачу 10) с той лишь разницей, что центр сетки будет изображать не точку весеннего равноденствия ♈, а восходящий узел ☊ галактического экватора с $\alpha_0 = 282°$ и $\delta_0 = 0°$ (см. § 8, гл. I). В этом случае основной меридиан стереографической сетки изобразит круги склонения с $\alpha = 12°$ (правая дуга основного меридиана) и $\alpha = 192°$ (левая дуга основного меридиана), на которых лежат галактические полюсы. Точка весеннего равноденствия ♈ будет лежать уже не в центре сетки, а на ее экваторе, на расстоянии 78° вправо от центра (☊).

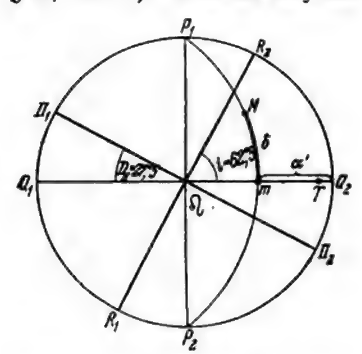


Рис. 73. Использование стереографической сетки для решения задачи 12.

Наложим кальку на стереографическую сетку так, чтобы полюсы кальки $П_1$ и $П_2$ отстояли от точек Q_1 и Q_2 экватора сетки на 27°,5. Точки тогда $П_1$ и $П_2$ будут соответственно северным и южным галактическими полюсами, а экватор кальки R_1R_2 изобразит галактический экватор, наклоненный к небесному экватору под углом 62°,5 (рис. 73). Помня, что экватор Q_1Q_2 стереографической сетки изображает в данном случае небесный экватор, а полюсы P_1 и P_2 сетки — полюсы мира, нанесем на кальку точку M (светило) по ее заданным экваториальным координатам α и δ. Прямое восхождение α следует откладывать

не от центра сетки, а от точки ♈, отстоящей от центра вправо на 78°, причем если $\alpha \leqslant 12°$, то его нужно откладывать вправо от точки ♈; если $12° < \alpha \leqslant 192°$, то первые 12° откладываются вправо от ♈ (до точки Q_2 экватора), а оставшаяся разность $\alpha' = \alpha - 12°$ — по экватору влево от точки Q_2; если же $\alpha > 192°$, то по экватору откладывается аргумент $\alpha' = 360° - \alpha$, но уже влево от ♈. Склонение δ откладывается так же, как и в задаче 10.

Нанеся точку M с экваториальными координатами α и δ, поворачиваем кальку по часовой стрелке на угол 62°,5, т. е. до совмещения полюсов кальки Π_1 и Π_2 с полюсами сетки P_1 и P_2, а экватора кальки R_1R_2 с экватором сетки Q_1Q_2 (рис. 74). Теперь следует рассматривать стереографическую сетку как систему галактических координат, в которой круги галактической широты изобразятся меридианами сетки.

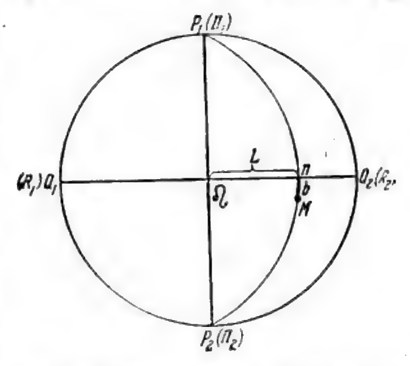


Рис. 74. Использование стереографической сетки для решения задач 12 и 13.

По кругу галактической широты, проходящему через светило M, отсчитывается от галактического экватора Q_1Q_2 галактическая широта b светила, а от восходящего узла ☊ галактического экватора (центра сетки) до основания n круга широты светила отсчитывается аргумент L, заменяющий галактическую долготу. При определении самой долготы необходимо помнить, что светило M, в зависимости от его α, может мыслиться как «перед», так и «за» сеткой, а по аргументу L, отсчитываемому от узла ☊, отыскивается галактическая долгота l' в старой системе галактических координат. Поэтому если $0° \leqslant \alpha \leqslant 12°$ или $282° < \alpha \leqslant 360°$, то L отсчитывается по экватору сетки вправо от ее центра (☊) и тогда $l' = L$; при $12° < \alpha < 102°$ аргумент L отсчитывается тоже вправо от центра сетки, но $l' = 180° - L$; при $102° < \alpha \leqslant 192°$ аргумент L отсчитывается влево от центра сетки и $l' = 180° + L$; наконец, при $192° < \alpha < 282°$ аргумент L отсчитывается тоже влево от центра сетки, но $l' = 360° - L$.

После определения l' находят l, причем во всех перечисленных случаях $l = l' + 33°,0$ (см. § 8, гл. I).

13. *Определение экваториальных координат светила по его галактическим координатам.* Преобразование галактических координат светила l и b в экваториальные координаты α и δ производится в последовательности, обратной той, которая рассмотрена в задаче 12. Сначала вычисляют $l' = l - 33°,0$. Затем накладывают кальку на стереографическую сетку (см. рис. 74), совмещая их полюсы и экваторы, и на нее наносят точку M с координатами l' и b, учитывая замечания о связи l' с аргументом L

(см. задачу 12). Это означает, что при $0° < l' \leqslant 90°$ по экватору сетки вправо от ее центра (☊) откладывается аргумент $L = l'$; при $90° < l' \leqslant 180°$ вправо от центра сетки по ее экватору откладывается аргумент $L = 180° - l'$; при $180° < l' \leqslant 270°$ аргумент $L = l' - 180°$ откладывается по экватору сетки влево от ее центра; наконец, при $270° < l' < 360°$ влево от центра сетки откладывается аргумент $L = 360° - l'$. Далее на меридиане сетки, проходящем через конец n отложенной дуги L и представляющем круг галактической широты, отмечается точка M, отстоящая от экватора сетки на величину b. Затем калька поворачивается против часовой стрелки на угол $62°,5$; в этом случае галактические полюсы Π_1 и Π_2 будут отстоять от точек Q_1 и Q_2 экватора сетки на $27°,5$ (рис. 75).

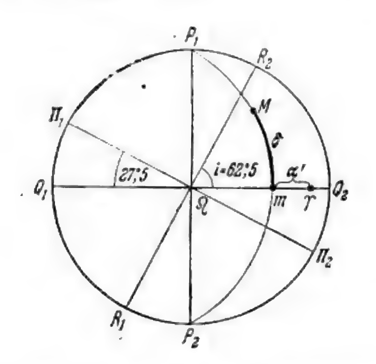


Рис. 75. Использование стереографической сетки для решения задачи 13.

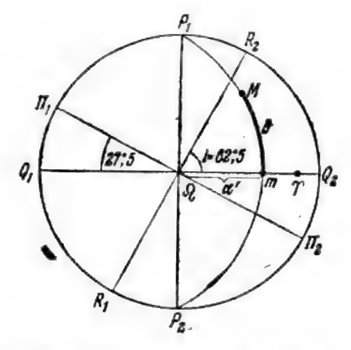


Рис. 76. Использование стереографической сетки для решения задачи 13.

Рассматривая стереографическую сетку как экваториальную систему координат с небесным экватором Q_1Q_2 и полюсами мира P_1 и P_2, отсчитывают по меридиану сетки (кругу склонения), проходящему через точку M, склонение δ этой точки, а по положению основания m ее круга склонения — прямое восхождение α светила. Поскольку точка весеннего равноденствия ♈ лежит не в центре сетки, а отстоит от него вправо на 78°, значение α может быть получено либо отсчетом от ♈, либо отсчетом от центра сетки (☊). В первом способе (отсчет от ♈) определяется дуга $\alpha' = m$♈(см. рис. 76). Тогда при $0° < l' \leqslant 90°$ искомое $\alpha = 360° - \alpha'$ (если точка m лежит левее ♈) или $\alpha = \alpha'$ (если точка m лежит правее ♈); при $90° < l' \leqslant 270°$ значение $\alpha = 24° + \alpha'$ (точка m лежит левее ♈) и $\alpha = 24° - \alpha'$ (точка m лежит правее ♈); при $270° < l' < 360°$ всегда $\alpha = 360° - \alpha'$.

Во втором способе отсчета (отсчет от центра сетки ☊) определяется дуга $\alpha' =$ ☊m (рис. 75). Тогда при $0° < l' \leqslant 90°$ $\alpha = 282° + \alpha'$; при $90° < l' \leqslant 180°$ $\alpha = 102° - \alpha'$; при $180° < l' \leqslant 270°$ $\alpha = 102° + \alpha'$ и при $270° < l' < 360°$ $\alpha = 282° - \alpha'$.

14. *Определение азимута и часового угла светила в момент его восхода и захода.* В момент восхода и захода светило находится на истинном горизонте и точки его восхода и захода расположены симметрично относительно плоскости небесного меридиана. Следовательно, часовой угол точки восхода $t_в = -t_з$, где $t_з$ — часовой угол захода; точно так же азимут точки восхода $A_в = -A_з$. Значения $t_в$ ($t_з$) и $A_в$ ($A_з$) зависят от географической широты места наблюдения φ и склонения светила δ.

Примем стереографическую сетку за систему экваториальных координат, наложим на нее кальку так, чтобы ее полюсы совпали с полюсами сетки, и скопируем на кальку параллель сетки, отстоящую от ее экватора на величину δ светила (рис. 77).

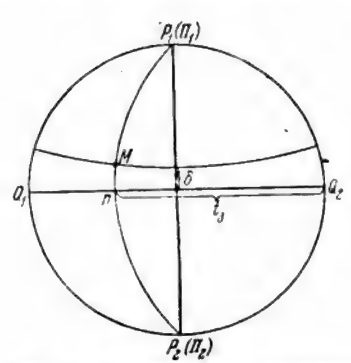


Рис. 77. Использование стереографической сетки для решения задачи 14.

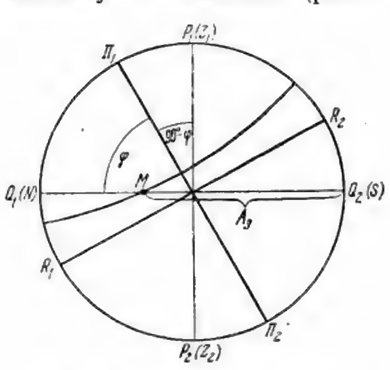


Рис. 78. Использование стереографической сетки для решения задачи 14.

Повернув кальку вокруг центра сетки против часовой стрелки на угол 90° — φ, будем рассматривать сетку как систему горизонтальных координат. У концов экватора сетки на кальке поставим обозначения точек юга (S) и севера (N). Точка M пересечения скопированной параллели с экватором Q_1Q_2 сетки (в данном случае истинным горизонтом) является точкой захода светила, азимут которой $A_з$ отсчитывается непосредственно по экватору сетки от точки юга Q_2 (S) (рис. 78). Возвратив кальку в прежнее положение (рис. 77), скопируем меридиан сетки, проходящий через точку M, доведя его до точки n экватора сетки (в данном случае небесного экватора), по которому от точки Q_2 отсчитываем часовой угол $t_з$.

Значения $t_в$ и $A_в$ определятся как $t_в = 360° - t_з$ и $A_в = 360° - A_з$.

15. *Определение продолжительности гражданских и астрономических сумерек.* Продолжительность сумерек τ (см. § 14, гл. 1) для любого дня года может быть легко получена с помощью стереографической сетки. Наложим кальку на сетку и совместим их экваторы и полюсы. Принимая сетку за экваториальную систему координат, скопируем на кальку параллель сетки (в данном

случае небесную параллель), отстоящую от ее экватора на величину склонения Солнца $\delta_{\odot}$ в данный день (рис. 79). Повернув кальку против часовой стрелки на угол $90° - \varphi$ (рис. 80) и рассматривая сетку как горизонтальную систему координат, отметим на скопированной небесной параллели две точки: точку m ее пересечения с истинным горизонтом и точку n, находящуюся под горизонтом на глубине $h_{\odot}$ погружения центра Солнца под горизонт. Для окончания гражданских сумерек $h_{\odot} = -7°$, а для окончания астрономических сумерек $h_{\odot} = -18°$. Возвратив кальку в прежнее положение (рис. 79), проведем на ней через отмеченные точки m и n круги склонения до пересечения с небесным экватором. Измерив по экватору расстояние Δt между этими

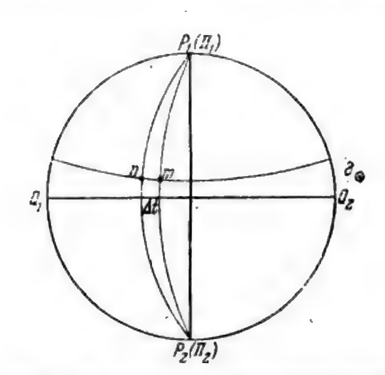


Рис. 79. Использование стереографической сетки для решения задачи 15.

Рис. 80. Использование стереографической сетки для решения задачи 15.

кругами, можно вычислить продолжительность сумерек τ в минутах времени. В самом деле, Δt представляет собой приращение часового угла Солнца от момента захода Солнца до момента его погружения под горизонт на требуемую величину $h_{\odot}$. Поэтому достаточно выразить Δt в единицах времени, чтобы получить продолжительность сумерек τ. Поскольку Δt по стереографической сетке определяется в градусах, то $\tau = 4^m \cdot \Delta t$, так как $1° = 4^m$.

Более точное значение Δt, а следовательно, и τ, может быть получено при учете величины углового радиуса солнечного диска и средней рефракции. Моментом захода Солнца считается момент исчезновения за горизонтом верхнего края Солнца, а для этого зенитное расстояние центра Солнца должно быть равно $z_{\odot} = 90° + r_{\odot} + \rho$, где $r_{\odot}$ — угловой радиус солнечного диска, а ρ — средняя рефракция в горизонте. Принимая $r_{\odot} = 16'$ и $\rho = 35'$, получим $z_{\odot} = 90°51'$, т. е. в пределах точности отсчетов по стереографической сетке $z_{\odot} = 91°$.

Отсюда следует, что при более точном определении τ нужно на небесной параллели отмечать не точку m ее пересечения с истинным горизонтом, а точку m', находящуюся под горизонтом

на 1°, и определять Δt между ней и второй точкой n небесной параллели, отмечаемой указанным выше способом.

Разность в определении τ с учетом $r_{\odot}$ и ρ и без учета этих величин может составить 12^m.

16. *Определение площади фигуры на небесной сфере.* Площадь той или иной фигуры на небесной сфере (например, площадь созвездия) выражается в квадратных градусах (град²). Чтобы определить площадь фигуры, нужно наложить кальку на стереографическую сетку и, пользуясь просвечивающими сквозь кальку кругами сетки, изобразить эту фигуру на кальке. Если такой фигурой является созвездие, то оно изображается по своим границам, проходящим по кругам склонения и небесным параллелям. После изображения фигуры подсчитывается число клеточек, умещающихся на ее поверхности (внутри ее контура). Каждая клеточка имеет площадь, зависящую от ее удаления Δ от экватора. Площади S этих клеточек, выраженные в кв. град., даются в табл. X.

Таблица X

Δ	S кв. град	Δ	S кв. град	Δ	S кв. град	Δ	S кв. град	Δ	S кв. град
0°		16°		32°		48°		64°	
	4,005		3,841		3,348		2,626		1,707
2		18		34		50		66	
	4,005		3,775		3,283		2,528		1,576
4		20		36		52		68	
	4,005		3,742		3,184		2,396		1,313
6		22		38		54		70	
	3,972		3,677		3,119		2,265		1,169
8		24		40		56		72	
	3,956		3,611		3,020		2,167		1,103
10		26		42		58		74	
	3,939		3,578		2,922		2,068		1,037
12		28		44		60		76	
	3,906		3,513		2,823		1,937		0,899
14		30		46		62		78	
	3,874		3,447		2,725		1,806		0,768
16°		32°		48°		64°		80°	

Глава III

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ АСТРОФИЗИКИ

§ 1. Некоторые сведения по фотометрии

Слово *фотометрия* означает «измерение света». С помощью фотометрического метода можно измерить интенсивность света, приходящего к нам от любого источника лучистой энергии, в том числе и от небесных тел.

Фотометрия обычно подразделяется на *точечную* и *поверхностную*. Точечная фотометрия занимается измерением *блеска* звезд и других точечных источников света (астероидов, спутников планет, ядер комет, искусственных спутников Земли, а также планет). Поверхностная фотометрия изучает *яркость* светящихся или освещенных поверхностей, например поверхности Солнца, Луны, планет, комет, туманностей.

Основной величиной в фотометрии является *световой поток — количество световой энергии, протекающей через данную площадку в единицу времени*. Понятие световой энергии означает здесь лучистую энергию, ощущаемую человеческим глазом или иным заменящим его приемником радиации (фотопластинкой, фотоэлементом). Таким образом, световой поток представляет собой часть общего *лучистого потока*, образованного радиацией всех длин волн, испускаемых данным источником.

Поскольку глаз, фотопластинка и фотоэлемент воспринимают излучение разных длин волн в различной степени и в ограниченном диапазоне, они называются *селективными* приемниками радиации. *Неселективными* приемниками являются *термоэлемент, радиометр, болометр, актинометр и пиргелиометр*. Отсюда ясно, что световой поток характеризует мощность лучистого потока, оцененную с помощью селективного приемника радиации.

Каждому селективному приемнику радиации соответствует определенная *фотометрическая система*, зависящая от его свойств воспринимать излучение тех или иных длин волн (о фотометрических системах см. § 4, гл. III).

Представим себе (рис. 81) точечный источник света O, излучающий по всем направлениям равномерно. Построим конус с вершиной в точке O и опишем вокруг этой точки сферу произвольного радиуса L, на которой конус вырежет площадку s.

Тогда внутри конуса будет заключен *телесный угол* ω, равный

$$\omega = \frac{s}{L^2}. \quad (3.1)$$

Если внутри конуса распространяется световой поток Φ, то величина

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (3.2)$$

называется *силой света* источника. Таким образом, *сила света есть отношение светового потока к телесному углу, в котором он распространяется.*

Понятие силы света хорошо известно в быту (сила света электрической лампочки). Единицей силы света является *кандела* (кд), равная силе света 1 см² поверхности абсолютно черного тела при температуре плавления платины (2044 К). Единицей светового потока является *люмен*. 1 люмен (лм) — это поток, который создает источник силой света в 1 канделу в телесном угле в 1 стерадиан *).

Если световой поток Φ падает на некоторую площадку s, то величина

$$E = \frac{\Phi}{s} \quad (3.3)$$

называется *освещенностью* площадки. *Освещенность есть отношение светового потока к площади освещаемой поверхности.* Между освещенностью и силой света источника имеет место соотношение

$$E = \frac{I}{L^2}\cos i, \quad (3.4)$$

где i — угол падения лучей, т. е. угол, образуемый падающим лучом с нормалью к поверхности.

Рис. 81. К определению светового потока.

Единицей освещенности является *люкс* (лк), соответствующий освещенности, при которой на 1 м² приходится световой поток в 1 люмен. Существует еще единица *фот*, соответствующая потоку в 1 люмен на 1 см². 1 фот равен 10 000 люксов.

Освещенность поверхности, перпендикулярной к падающим лучам, определяет *блеск* источника света. Блеск обычно тоже обоз-

---

*) Стерадиан (ср) — единица телесного угла, равная $\frac{1}{4\pi}$ сферы. Стерадиан содержит 3283 квадратных градуса.

начается буквой E, но мы, в отличие от освещенности вообще, будем обозначать его E'. Очевидно, что

$$E' = \frac{I}{L^2}. \tag{3.4a}$$

Хотя блеск, как и освещенность, можно было бы выражать в люксах, в астрономии это не принято, и вместо этого вводится понятие *звездной величины* m светящегося объекта, которая связана с блеском логарифмическим соотношением

$$m = m_0 - 2{,}5 \lg E', \tag{3.5}$$

где m_0 — звездная величина, соответствующая 1 люксу. Для гарвардской системы звездных величин $m_0 = -13{,}89$ (звездная величина 1 люкса). Вне атмосферы принято считать $m_0 = -14{,}00$.

Блеск является основной фотометрической характеристикой точечных источников света (звезд, астероидов и др.), хотя понятие блеска можно распространить и на протяженные объекты (Солнце, Луну, и т. д.). До установления правильной фотометрической терминологии блеск звезд неправильно называли «яркостью», а блеск протяженных источников света — интегральной яркостью.

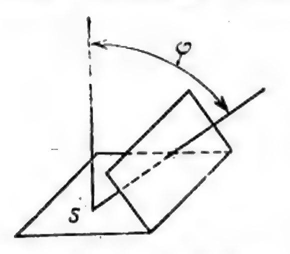


Рис. 82. Закон Ламберта.

Представим себе теперь (рис. 82) некоторую светящуюся поверхность, из которой выделим площадку s. Будем наблюдать ее по направлению, составляющему угол φ с нормалью к площадке. Тогда проекция площадки s на картинную плоскость (нормальную к направлению луча зрения) будет равна $s \cos \varphi$. Сила света площадки в направлении луча зрения будет равна

$$I = Bs \cos \varphi,$$

где величина

$$B = \frac{I}{s \cos \varphi} \tag{3.6}$$

называется *яркостью* поверхности для данного направления. Таким образом, *яркость есть отношение силы света* некоторой поверхности *к проекции светящейся поверхности на плоскость, нормальную к направлению луча зрения*. Очевидно, что понятие яркости может быть применено лишь к протяженным объектам, и совершенно бессмысленно говорить о «яркости» звезд, не имеющих видимых дисков (для них $s = 0$ и выражение (3.6) теряет смысл).

Можно дать другое определение яркости, часто более удобное. Именно, из формул (3.4а) и (3.6) следует:

$$E' = \frac{I}{L^2} = B \frac{s \cos \varphi}{L^2} = B\omega,$$

где ω — телесный угол, под которым из данной точки видна проекция площадки s на картинную плоскость наблюдателя. Отсюда

$$B = \frac{E'}{\omega}. \tag{3.7}$$

Это означает, что *яркостью называется отношение блеска элемента светящейся поверхности в точке наблюдения к телесному углу, под которым этот элемент виден из данной точки.* Более развернутое определение получится, если мы вместо термина «блеск» подставим его определение через освещенность, данное выше.

Формула (3.7) дает очень важное соотношение между блеском и яркостью. Кроме того, из формул (3.6) и (3.7) следует, что яркость светящейся поверхности не зависит от расстояния до нее, в то время как освещенность и блеск изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния (формулы (3.4) и (3.4а)).

Если яркость поверхности не зависит и от направления, по которому она наблюдается, то такая поверхность называется *ортотропной*. Обозначив $I_0 = Bs$, получим из формулы (3.6) для ортотропной поверхности

$$I = I_0 \cos\varphi. \tag{3.8}$$

Это закон косинусов или закон Ламберта.

Единицей яркости является *стильб* (сб) — яркость поверхности, один квадратный сантиметр площади проекции которой имеет силу света в 1 канделу. Существуют еще единицы: *ламберт* (Лб), представляющий собой яркость абсолютно белой поверхности, освещенность которой равна 1 фоту, и *апостильб* (асб) — яркость той же поверхности при освещенности в 1 люкс. В Международной системе единиц (СИ) применяется единица *нит* (нт), равная 1 кд/м². Соотношение между этими единицами следующее:

$$1 \text{ сб} = \pi \text{ Лб} = 10\,000\pi \text{ асб} = 10\,000 \text{ нт}.$$

Кроме указанных единиц яркость в астрономии иногда выражают в звездных величинах с квадратного градуса или с квадратной минуты дуги. Чтобы перевести такие единицы в стильбы, логарифмируем формулу (3.7), подставив в нее E' из формулы (3.5). Получим

$$\lg B = 0{,}4\,(m_0 - m) - \lg\omega. \tag{3.9}$$

Подставляя значения m_0 и ω, получим (B — в стильбах):

$$\left.\begin{aligned} \lg B &= 5{,}924 - 0{,}4m \text{ (зв. вел. с кв. градуса)},\\ \lg B &= 2{,}37 - 0{,}4m \text{ (зв. вел. с кв. мин. дуги)}. \end{aligned}\right\} \tag{3.10}$$

Для самосветящихся поверхностей существует еще понятие *светимости. Светимость R равна световому потоку, испускаемому единицей светящейся поверхности.* Иначе говоря

$$R = \frac{\Phi}{s}. \tag{3.11}$$

Между светимостью и яркостью ортотропной поверхности существует простое соотношение $R = \pi B$, откуда следует, что яркость абсолютно белой поверхности ($R = E$) равна

$$B = \frac{E}{\pi}. \tag{3.12}$$

Отсюда и вытекают приведенные выше соотношения между стильбом, ламбертом и апостильбом.

Несколько особое положение среди астрономических объектов, с точки зрения фотометрии, занимают метеоры. Они не являются ни точечными, ни протяженными объектами, а представляются глазу в виде линии, имеющей длину, но не имеющей ширины (за исключением ярких болидов). Регистрируя звездную величину метеоров, мы оцениваем их блеск, т. е. мгновенную освещенность, создаваемую метеором на плоскости, перпендикулярной к лучу зрения. Поэтому и в отношении метеоров следует употреблять термин блеск, а не «яркость».

При изучении свойств отражающих свет матовых поверхностей или небесных тел, отражающих солнечный свет (планет), широкое применение находит понятие *альбедо*. Можно по-разному ввести это понятие, характеризующее отражательные свойства поверхности и, в частности, поверхности небесного тела. Однако следует отличать отражательные свойства плоской поверхности и шарообразного небесного тела.

Для плоской матовой поверхности отражательная способность определяется следующими характеристиками:

1. *Истинное альбедо* (альбедо по Ламберту) A — отношение светового потока, рассеянного элементом поверхности во всех направлениях, к потоку, упавшему на этот элемент. Для абсолютно белой поверхности $A = 1$.

2. *Коэффициент яркости* r — отношение яркости поверхности в данном направлении к ее освещенности

$$r = \frac{B}{E}. \tag{3.13}$$

Из формулы (3.12) следует, что для абсолютно белой поверхности $r = \frac{1}{\pi} = 0{,}318$. Если поверхность ортотропна, то для нее $A = \pi r$ в противном случае r меняется с направлением.

3. *Видимое альбедо* (яркостный фактор) $A_в$ — отношение яркости поверхности для данного направления (B) к яркости аб-

солютно белой поверхности, расположенной в том же месте, но перпендикулярно к падающим лучам (B_a):

$$A_в = \frac{B}{B_a} = \pi r \cos i, \qquad (3.14)$$

где i — угол падения лучей. Для ортотропной поверхности $A_в = A \cos i$. В случае неортотропной поверхности произведение $\pi r = r$ не равно A и обозначается специальным термином *светлота*. Таким образом, для любой поверхности $A_в = r \cos i$. Видимое альбедо — величина, непосредственно получаемая из фотометрических наблюдений планет.

Фотометрические свойства шарообразного небесного тела, освещенного извне (например, планеты), характеризуются тремя видами альбедо:

а) *Геометрическое альбедо* $A_г$ — отношение средней яркости диска планеты при полной фазе ($B_{ср}$) к яркости абсолютно белой поверхности, помещенной в той же точке и перпендикулярной к солнечным лучам (B_a):

$$A_г = \frac{B_{ср}}{B_a} = \frac{E_п}{E_\odot} \frac{\Delta^2 L^2}{\Delta_\odot^2 R^2}, \qquad (3.15)$$

где $E_п$ — блеск планеты при полной фазе на расстоянии L от Солнца и Δ от Земли, $E_\odot$ — блеск Солнца с расстояния $\Delta_\odot$, R — радиус планеты.

Геометрическое альбедо легко определяется из наблюдений, если известен радиус планеты, но его нельзя сравнивать с истинным альбедо или светлотой земных образцов, так как в его определение входит средняя яркость разных точек диска, находящихся к тому же в различных условиях освещения.

б) *Иллюстративное альбедо* $A_и$ — отношение средней яркости диска планеты при полной фазе к средней яркости абсолютно белой планеты того же размера, находящейся в таких же условиях освещения ($B_{а\,ср}$):

$$A_и = \frac{B_{ср}}{B_{а\,ср}} = \frac{E_п}{E_а}, \qquad (3.16)$$

где $E_а$ — блеск воображаемой абсолютно белой планеты. Для ортотропной поверхности $A_и = A = r$, поэтому иллюстративное альбедо можно сравнивать с A и r земных образцов. С геометрическим альбедо иллюстративное альбедо связано простым соотношением $A_и = \frac{3}{2} A_г$.

в) *Сферическим альбедо* (альбедо по Бонду) $A_с$ называется отношение светового потока, рассеянного планетой по всем направлениям, к световому потоку, упавшему на ее поверхность,

$$A_с = \frac{\Phi}{\Phi_0}. \qquad (3.17)$$

Для ортотропной поверхности $A_с = A_н = A = r$. Для неортотропной поверхности $A_с = qA_г$, где q — *фазовый интеграл*, значение которого определяется по кривой изменения блеска планеты с фазой. Поскольку поверхности планет, вообще говоря, не являются ортотропными, а внешние планеты не наблюдаются при всех значениях угла фазы, для планет, начиная от Юпитера, сферическое альбедо, строго говоря, неизвестно. Значения сферического альбедо для планет см. в табл. 5б отдела «Таблицы».

Все альбедо и другие названные характеристики изменяются с длиной волны. В таблице приведены их значения в международной фотовизуальной фотометрической системе.

Приемники излучения непосредственно регистрируют следующие фотометрические величины: глаз — яркость и блеск, фотопластинка — освещенность, фотоэлемент — световой поток.

Соответственно применяемому приемнику излучения фотометрия разделяется на *визуальную, фотографическую и фотоэлектрическую*. Если изучается лишь отношение яркости или блеска светила к яркости или блеску другого светила или лабораторного источника и результаты выражаются в относительных единицах, то такая фотометрия называется *относительной*. Если же тем или иным путем можно получить значения измеряемых величин в абсолютных единицах, то в этом случае фотометрия называется *абсолютной*.

§ 2. Понятие о спектре

Высокая температура и давление в звездных недрах приводят к тому, что в них вырабатывается *лучистая энергия*. При формировании звезды разогрев вещества вызывается постепенным сжатием под действием гравитационных сил. На более поздних стадиях эволюции звезда (в том числе и Солнце) поддерживает свое излучение за счет термоядерных реакций, происходящих в ее глубоких слоях. В недрах большинства звезд происходит ядерная реакция превращения водорода в гелий.

Вещество звезды чрезвычайно непрозрачно. Поэтому «родившийся» в глубине звезды фотон, прежде чем добраться до внешних слоев, испытывает множество поглощений и переизлучений и многократно преобразуется, приспосабливаясь к физическим условиям той области, куда он попадет. Он очень долго блуждает прежде чем достигнет внешних слоев звезды, откуда может уйти в мировое пространство. Слои звезды, из которых излучение может беспрепятственно уходить, называются ее *атмосферой*.

Излучение испускается как из внешних, так и из более глубоких частей атмосферы. Последние называются *фотосферой*. У таких звезд, как наше Солнце, фотосфера не слишком протяженна, и поэтому мы видим край солнечного диска резко очерченным. Однако существуют звезды, у которых фотосфера по ряду

причин очень протяженна, и ее «толщина» составляет заметную долю радисуа звезды. Это означает, что до нас доходит излучение, идущее с различных глубин звездной фотосферы.

Проходя через внешние слои звезды, излучение испытывает как общее, так и селективное поглощение, характер которого зависит как от химического состава, так и от физических условий, господствующих в звездной оболочке. Для определения этих условий необходимо подвергнуть доходящее к нам от звезды излучение спектральному анализу.

Рассмотрим прежде всего распределение лучистой энергии в спектре звезды. Для этого построим график, откладывая по горизонтальной оси длины волн, а по вертикальной — интенсивность излучения B_λ. Построение таких графиков на основе наблюдений входит в число задач спектрофотометрии. Как наблюдения, так и теоретические рассужения показывают, что такая кривая распределения энергии в спектре спадает до нуля (стремится слиться с горизонтальной осью) как при очень длинных волнах, так и при очень коротких, достигая, при какой-то определенной длине волны λ_{max} наибольшего расстояния от горизонтальной оси. Теоретически выведено, что справедливо соотношение

$$\lambda_{max} \cdot T = 0{,}28978 \text{ см} \cdot \text{К}, \qquad (3.18)$$

где T — температура излучателя. Это *закон смещения Вина*. Чем выше температура, тем короче длина волны, при которой B_λ максимально.

Второй важный закон теории излучения состоит в следующем. Если обозначить через E полную лучистую энергию, испускаемую квадратным сантиметром поверхности излучателя в секунду, а через T — температуру, то

$$E = \sigma T^4, \qquad (3.19)$$

где

$$\sigma = 0{,}56697 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Дж}}{\text{см}^2 \cdot \text{К}^4 \cdot \text{с}}.$$

Это *закон Стефана—Больцмана.*

Формулы (3.18) и (3.19) следуют из формулы Планка, описывающей распределение энергии в спектре идеально поглощающего (так называемого *абсолютно черного*) тела, т. е. тела, поглощающего всякое падающее на него излучение:

$$E_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1}. \qquad (3.20)$$

В этой формуле λ — длина волы, T — абсолютная температура, e — основание натуральных логарифмов ($e = 2{,}71828\ldots$), E_λ — спектральная плотность потока энергии, выраженная в джоулях, c_1 и c_2 — постоянные величины, равные $c_1 = 3{,}74 \cdot 10^{-12}$ Дж·см^2·с$^{-1}$ и $c_2 = 1{,}439$ см·К. При этом длины волн должны

быть выражены в сантиметрах. На рис. 83 изображены кривые распределения энергии в спектре абсолютно черного тела при различных температурах. При некоторых температурах и в определенных интервалах длин волн, используемых при астрофизических наблюдениях, первый член знаменателя гораздо больше единицы. Тогда формулу (3.20) можно упростить, отбросив единицу в знаменателе, и заменить формулой Вина

$$E_\lambda = c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}. \tag{3.21}$$

Конечно, ни звезды, ни Солнце не являются идеальными излучателями, но можно считать, что в некоторых ограниченных

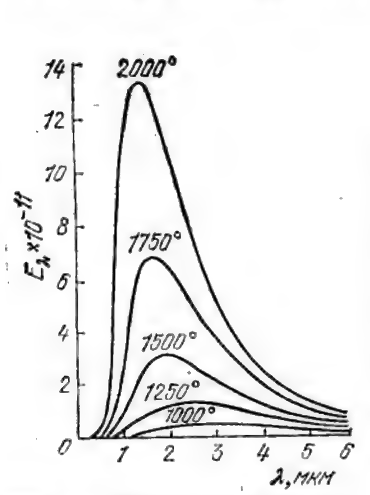


Рис. 83. Кривые распределения энергии в спектре абсолютно черного тела. Шкала по оси ординат — в единицах СГС.

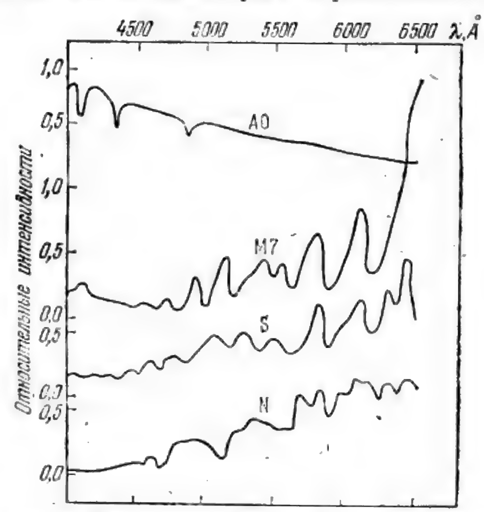


Рис. 84. Распределения энергии в спектрах звезд спектральных классов A0, M7, S, N.

интервалах длин волн формулы (3.20) и (3.21) достаточно точно описывают распределение энергии в их спектрах, если подобрать подходящее значение T.

На рис. 84 изображены кривые распределения энергии в спектрах некоторых звезд.

§ 3. Спектральная классификация звезд

Фотосферы звезд (в том числе и Солнца) испускают излучение, обладающее непрерывным спектром. Когда же излучение фотосферы проходит через расположенные над ней внешние слои атмосферы, его характер меняется. Часть лучей поглощается, причем это поглощение может быть непрерывным, когда ослабляется некоторый более или менее протяженный участок спектра, и селективным — избирательным, при котором поглощаются уз-

кие участки спектра. В спектре появляются темные линии, вызванные поглощением атомов, и полосы, обусловленные поглощением молекул. Исследование спектральных линий и полос позволяет установить химический состав и физические условия, господствующие во внешних слоях оболочки звезды.

В результате многолетних исследований было разработано несколько спектральных классификаций звездных спектров. Наиболее широкое распространение получила классификация, разработанная на Гарвардской обсерватории. Она была принята впоследствии за основу и в нее постепенно вносились все новые уточнения, которые были необходимы для более полного описания свойств той или иной разновидности звезд.

Гарвардская спектральная классификация подробно описана в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии» (4-е изд. — М.: Наука, 1971, таблица X, с. 123). Поэтому здесь мы приводим только главные характеристики каждого из спектральных классов.

Классификация спектров может быть изображена «цепочкой», вдоль которой слева направо температура фотосферы систематически понижается:

```
            WN                 R —N
                              //
Q, P, W, O—B—A—F—G—K—M

            WC                  —S
```

Буква Q принята для обозначения спектральных классов новых звезд. Буквой P обозначаются спектральные классы спектров планетарных туманностей. Буквой W обозначаются спектры звезд типа Вольфа—Райе — чрезвычайно горячих звезд, в спектрах которых много ярких эмиссионных линий. В спектре звезд WN видны спектральные линии азота, а в спектре звезд WC — линии углерода. Температуры фотосфер этих звезд очень высоки: от 60 до 100 тыс. кельвинов.

Остальные спектральные классы можно кратко охарактеризовать так:

O — наиболее заметны линии, принадлежащие ионизованному гелию. Иногда видны эмиссионные линии (*T* от 25 000 до 50 000 K).

B — наиболее заметны линии поглощения нейтрального гелия (*T* от 15 000 до 25 000 K).

A — наиболее интенсивны линии поглощения водорода: бальмеровская серия (*T* от 9000 до 12 000 K).

F — линии бальмеровской серии ослаблены. Появляются хорошо заметные линии H и K ионизованного кальция (*T* около 7500 K).

G — очень интенсивны линии H и K. Много линий поглощения атомов металлов. Линии водорода не выделяются на фоне спектра, пересеченного очень большим количеством линий. K

этому спектральному классу принадлежит Солнце (T около 6000 K).

K — многочисленны линии металлов. Интенсивна полоса G. Становится заметной полоса поглощения молекулы окиси титана (T около 5000 K).

M — спектр пересечен полосами поглощения молекул окиси титана. Фиолетовый конец спектра очень ослаблен (T от 2000 до 3500 K).

В правой части цепочка расщепляется на три параллельные ветви (K — M), (R — N) и S. У звезд спектральных классов R и N титан, характерный для классов K и M, заменен углеродом и его молекулярными соединениями. В настоящее время для обозначения таких спектров все чаще употребляется вместо R и N символ C с его десятичным делением. У звезд спектрального класса S титан заменен цирконием; наблюдаются полосы поглощения, свойственные молекулам окиси циркония. Вместе с тем звезды классов K и R обладают почти одинаковыми температурами, около 5000 K. То же самое можно сказать и о звездах классов M, N и S; их температуры также почти одинаковы, около 3000 K.

Таким образом, при низких температурах становится более заметным различие химического состава звездных оболочек.

Каждый из спектральных классов разделяется на 10 подклассов, что отмечается соответствующей цифрой, например B8, A5, K2 и т. д.

Если в спектре видны эмиссионные линии, то добавляется буква «e», например B5e. Если спектр обладает особенностями, не укладывающимися в общую классификацию, то добавляют букву «p», что означает «пекулярный» («особенный»), например, Ap.

Температура определяет главный вид спектра. Однако оказалось, что давление газа в той области звездной оболочки, где образуются спектральные линии, влияет на их ширину. При малой плотности и малом давлении спектральные линии тонкие и резко очерченные. В этом случае к обозначению спектрального класса добавляется индекс c, например cA2. Такие звезды обычно являются сверхгигантами. Далее, появилась возможность по интенсивности избранных линий поглощения судить о том, какова светимость звезды, т. е. является ли она гигантом или карликом. В первом случае перед спектральным классом звезды ставится индекс «g» (гигант), во втором — «d» (карлик), например gK0, dM2.

Ряд причин (в частности, осевое вращение) приводит к расширению и размыванию спектральных линий. Поэтому введены индексы «n» — диффузные линии, и «s» —резкие линии, которые также пишутся рядом с обычным символом спектрального класса.

Таким образом, Гарвардская классификация с течением времени значительно усложнилась и «обросла» различными индек-

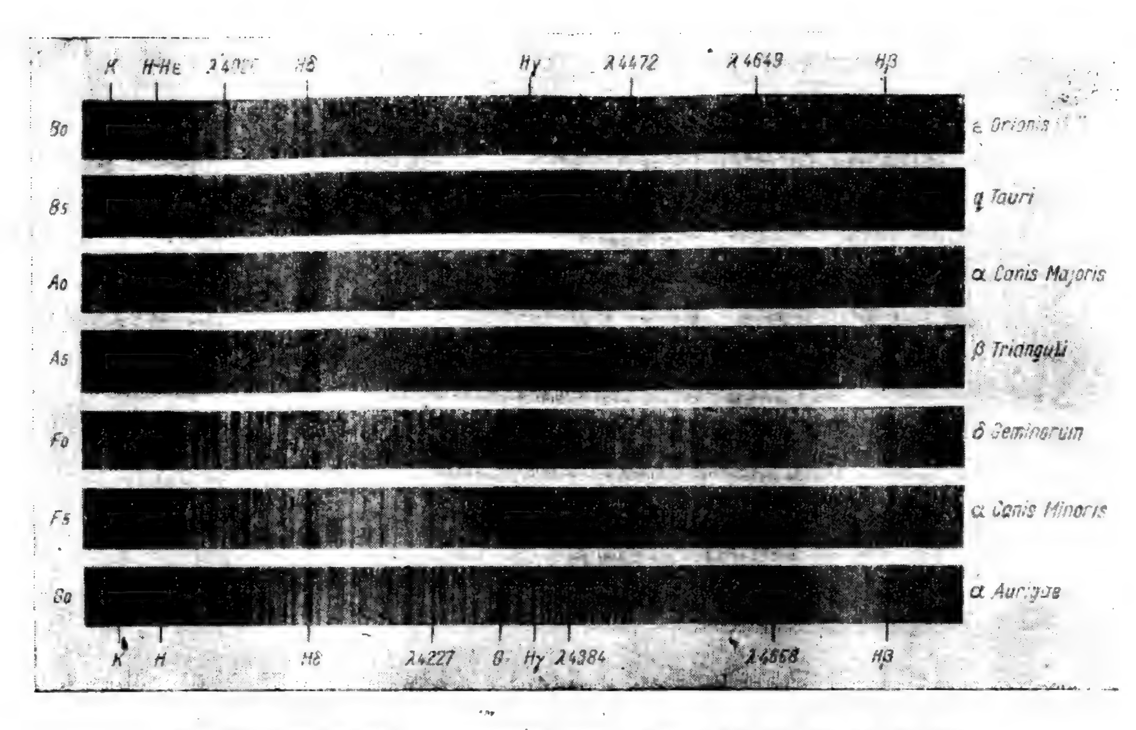


Рис. 85а. Спектральная классификация звезд (спектры **B0**, B5, A5, F0, F5, G0).

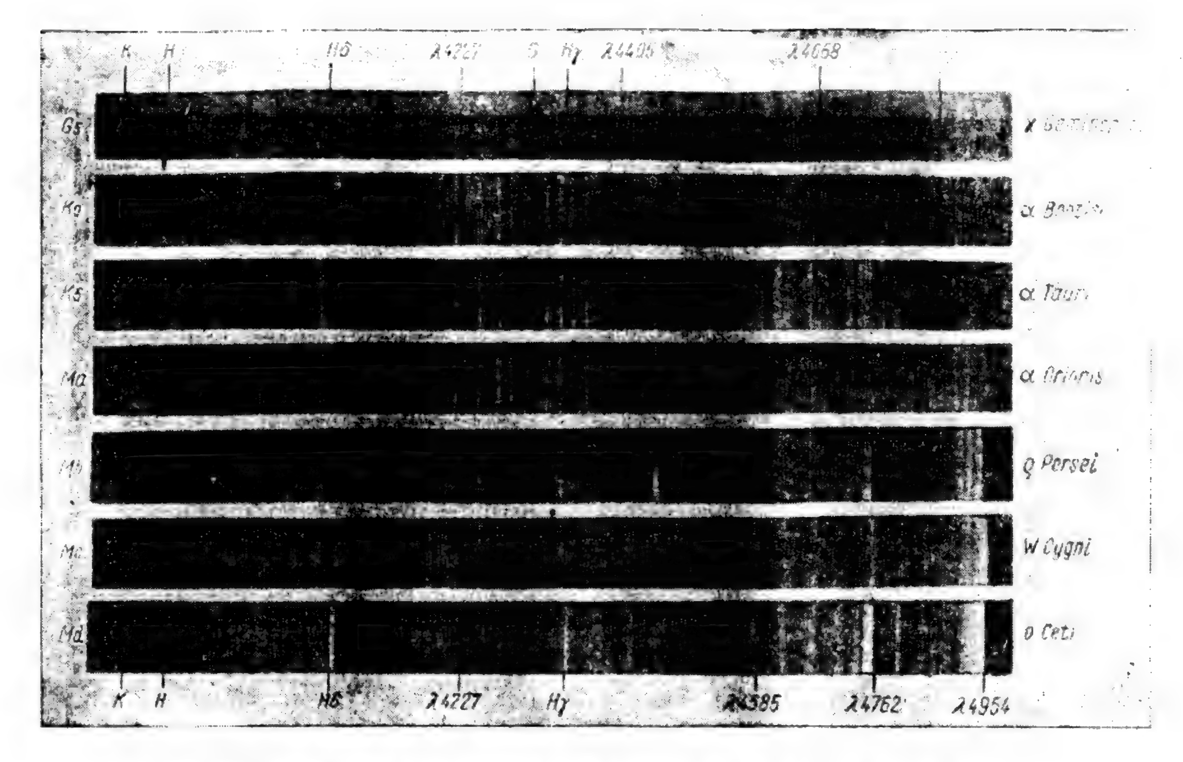


Рис. 85б. Спектральная классификация звезд (спектры G5, K0, K5, Ma, Mb, Mc, Md).

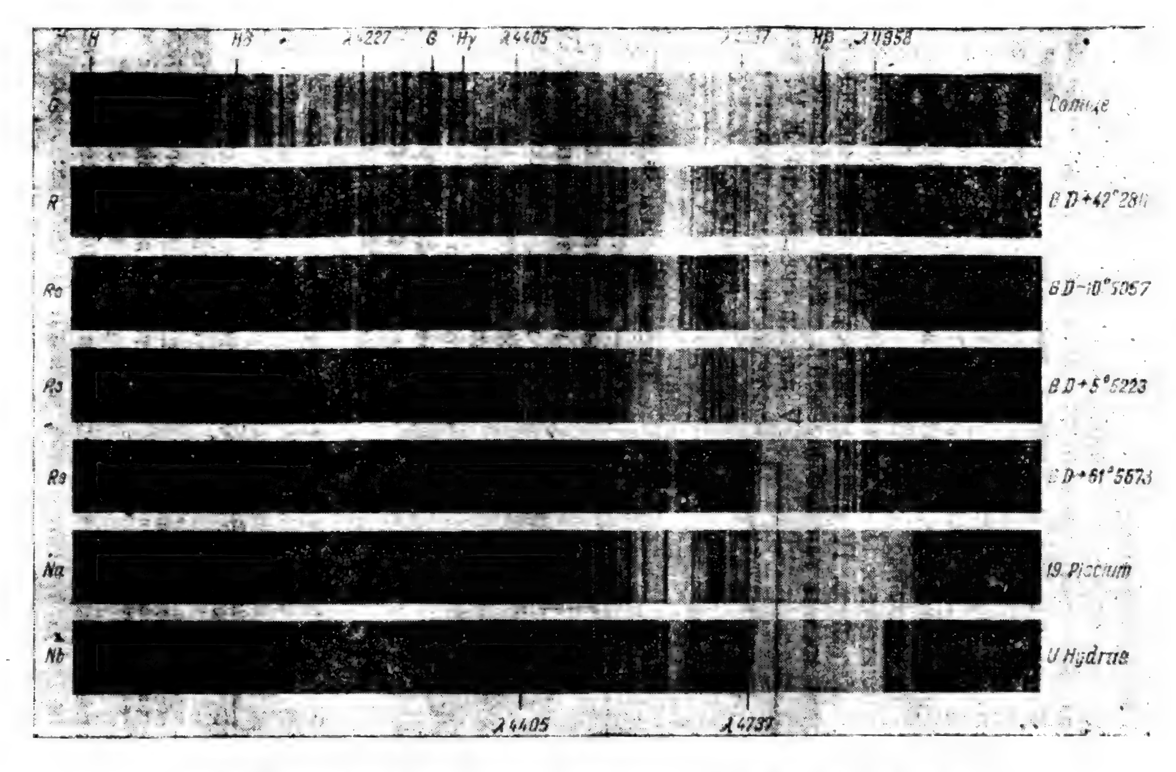


Рис. 85в. Спектральная классификация звезд (спектры G, R, R0, R3, R8, Na, Nb).

сами. Поэтому были сделаны попытки упорядочения спектральной классификации на более широкой основе.

Одной из таких классификаций является Йеркская, разработанная Морганом, Кинаном и Колльманом; ее сокращенно называют «классификация МКК». В ней оставлены спектральные классы Гарвардской классификации, но введено понятие о классе светимости, который определяется по виду и относительной интенсивности некоторых избранных для этой цели спектральных линий. Класс светимости — это характеристика абсолютной звездной величины звезды (см. § 4 гл. III). Классы светимости обозначаются римскими цифрами. Они таковы: Ia — яркие сверхгиганты (светимость порядка 10 000); Iab — промежуточные сверхгиганты; Ib — слабые сверхгиганты (светимость около 5000). Ниже располагаются II — яркие гиганты, III — слабые гиганты. К классу светимости IV принадлежат субгиганты. Особенно часто встречаются звезды так называемой главной последовательности V класса светимости. К VI классу светимости принадлежат субкарлики, и, наконец, к классам светимости VIIa и VIIb — белые карлики.

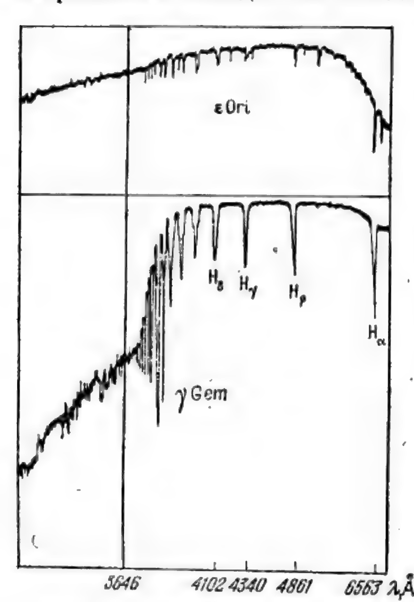


Рис. 86. Распределение энергии в спектрах звезд ε Ориона и γ Близнецов. На нижней диаграмме хорошо виден большой «бальмеровский скачок».

Таким образом, классификация МКК — двумерная; в ней спектральные классы определяются двумя индексами, например, G2 Ia, K5 IV и т. д. Расположение этих классов светимости на диаграмме Герцшпрунга—Рессела (гл. III, § 8) показано на рис. 88 (с. 232).

Французские астрономы разработали для звезд ранних спектральных классов другую классификацию, основанную на данных спектрофотометрических наблюдений. Было замечено, что у звезд практически одинаковых спектральных классов наблюдаются существенные различия в распределении энергии в ультрафиолетовой части спектра. Это хорошо видно на рис. 86, на котором изображены кривые распределения энергии в спектре звезды ε Ориона (вверху) и γ Близнецов (внизу). В системе МКК спектральный класс ε Ориона B0 Ia, следовательно, эта звезда — сверхгигант, в то время как γ Близнецов имеет спектральный класс A0 V и принадлежит главной последовательности.

Чем вызвано это различие? Оно обязано главным образом различию физических условий в звездных оболочках. У сверх-

гиганта оболочка более разреженная, чем у звезды главной последовательности. В спектре γ Близнецов хорошо видна серия Бальмера. Узкие глубокие линии поглощения водорода стремятся к некоторому пределу, расположенному в левой части рисунка, — «голове» серии Бальмера. Левее этого предела начинается непрерывное поглощение, которое производит атом водорода, возбужденный до второго энергетического уровня; уходя с этого

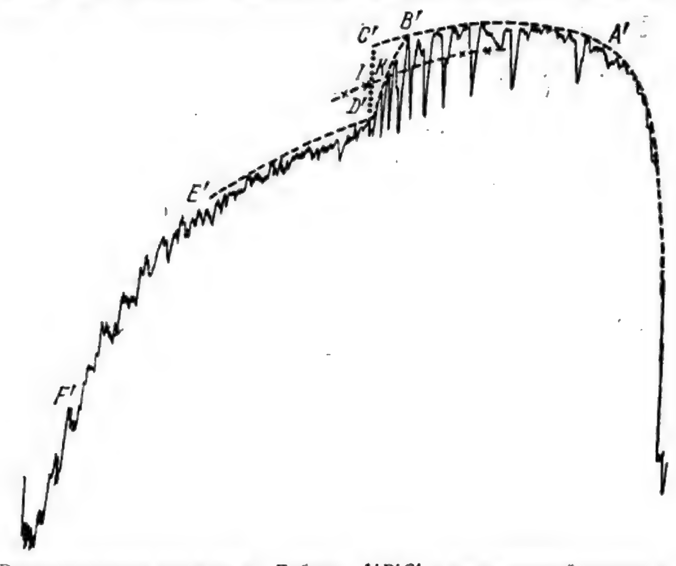


Рис. 87. Регистрограмма спектра π_1 Лебедя. $A'B'C'$ — непрерывный спектр в интервале о 4600 до 3700 Å. $D'E'F'$ — то же в ультрафиолетовой области. Экстраполированная точка C', так же как и D' имеет длину волны $\lambda = 3700$ Å, т. е. не совпадает с теоретической границей бальмеровской серии λ_0. Разность $C'D'$ в интенсивностях определяет величину бальмеровского скачка $D = \lg (I_{C'} : I_{D'})$. Средняя точка I, проэкстраполированная в сторону скопившихся линий до пересечения с их записью, определяет точку К, длина волны которой λ_1 есть второй параметр французской спектральной классификации.

уровня, электрон поглощает любую длину волны, меньшую, чем у «головы» серии, и ионизуется. Это и приводит к образованию *бальмеровского скачка*, который может характеризовать спектральные свойства звезды. На определении его величины французские астрономы, следуя Шалонжу, и основали свою классификацию. На рис. 87 изображены основные параметры, определяющие эту классификацию. Проводя на кривой распределения энергии в спектре огибающие, определяют величину скачка D и ту длину волны λ_1, при которой средняя интенсивность пересекает наблюденную кривую распределения энергии. Эта спектральная классификация, приписывающая каждой звезде два числа, D и λ_1, так же как система МКК, — двумерная. Впоследствии был прибавлен и третий параметр, φ_b, — спектрофотометрический градиент, который характеризует быстроту падения интенсивности в зависимости от длины волны при приближении к голове серии

Бальмера. Такая классификация полнее характеризует спектр звезды и является трехмерной.

Вследствие специфических условий, имеющих место в оболочках очень горячих и холодных звезд, на виде их спектра сильно сказывается различие химического состава.

Были обнаружены *металлические звезды*, обозначаемые в Гарвардской классификации буквой m, приписываемой к символу спектрального класса, например, A5m. Если определять спектральный класс по интенсивности линии К ионизованного кальция, то звезда оказывается принадлежащей к классу A. В то же время линии других металлов выделяются в спектре таких звезд настолько сильно, что надо было бы классифицировать его как принадлежащий к классу F. В трехмерной французской классификации металлические звезды выделяются из общих последовательностей звезд.

Существуют также *гелиевые звезды*, обладающие избытком гелия по сравнению с обилием водорода.

Затем была выделена особая группа звезд спектрального класса A, у которых видны сильные линии, принадлежащие атомам редких земель — ионизованным атомам гадолиния, европия и атомам марганца и хрома. Оказалось, что эти линии периодически изменяют свои интенсивности, что вызвано изменением огромных по напряженности магнитных полей. Такие звезды были названы *магнитными переменными*.

Отличными от обычных спектров оказались также спектры субкарликов — звезд пониженной светимости; ветвь субкарликов располагается на диаграмме Герцшпрунга—Рессела параллельно главной последовательности, но сдвинута в сторону меньших светимостей. Их иногда называют звездами VI класса светимости. Их гарвардские спектры сопровождаются символами sd, sdF, sdG, sdK. Особенность этих спектров — наличие в них ослабленных металлических линий, так что с первого взгляда кажется, что они принадлежат звездам спектрального класса A. Это, в частности, является причиной наличия у них ультрафиолетового избытка излучения.

Совершенно особые спектры у белых карликов (см. § 8, гл. III). Их низкие светимости и большие плотности вещества, а также большие значения ускорения силы тяжести во внешних слоях делают их спектры настолько особенными, что описать их в рамках Гарвардской классификации невозможно. Гринстейн предложил для них особую классификацию. Вот главные спектральные классы:

DC — непрерывный спектр с почти незаметными темными линиями,

DO — сильны линии ионизованного гелия,

DB — сильны линии нейтрального гелия, линий водорода нет,

DA — сильны линии водорода, а линий гелия не видно,

DF — видны линии H и K ионизованного кальция, линий водорода нет,

DG — есть линии H и K и линии железа, но нет линий водорода.

§ 4. Блеск и звездная величина

Свет звезды, падая на земную поверхность, создает некоторую освещенность (см. § 1, гл. III). Астрономы называют освещенность площадки, перпендикулярной к лучам света, *блеском* звезды. С блеском связана и звездная величина. Чем больше блеск звезды, тем меньше ее звездная величина. Обозначим блеск звезды n-й величины через E'_n, а m-й величины — через E'_m. Тогда их связывает формула

$$\frac{E'_m}{E'_n} = 2{,}512^{n-m} \qquad (\lg 2{,}512 = 0{,}400). \tag{3.22}$$

Отсюда после логарифмирования получаем

$$\lg\left(\frac{E'_m}{E'_n}\right) = 0{,}4\,(n-m) \quad \text{или} \quad n-m = 2{,}5\lg\left(\frac{E'_m}{E'_n}\right)\cdot \tag{3.23}$$

Эта формула дает возможность определить разность звездных величин, но не саму звездную величину каждой из звезд. Для полного определения звездной величины надо ввести дополнительное условие о нуль-пункте. Его выбирают условно. В результате сравнения с физическими определениями освещенности оказалось, что освещенность за пределами земной атмосферы, равную одному люксу, создает звезда $-13{,}89 \pm 0{,}05$ звездной величины.

Звездные величины зависят не только от источника излучения, но и от способа регистрации излучения.

Если приемник излучения реагирует на всю энергию падающего на него излучения, то он измеряет *болометрическую* звездную величину.

Такой прибор, который был бы одинаково чувствителен к излучениям всех длин волн, создать практически невозможно. Поэтому болометрическую звездную величину, играющую значительную роль в теоретических работах, зная распределение энергии в спектре звезды, обычно вычисляют на основании совокупности измерений, полученных селективными приборами. Таким образом, исходные данные для этих вычислений задаются в виде функции $E(\lambda)$, описывающей зависимость энергии излучения от длины волны.

Умножая $E(\lambda)$ на соответствующий интервал длин волн и суммируя по всем длинам волн, получаем величину

$$H = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} E(\lambda)\,\Delta\lambda. \tag{3.24}$$

Эта величина определяет полную мощность излучения звезды. Определив таким образом величины H_1 и H_2 для двух звезд, используем формулу (3.23) для определения разности их болометрических величин. Остается только соответствующим образом определить нуль-пункт и учесть ряд поправок.

Дело в том, что излучение звезды, идущее к нам через межзвездное пространство, ослаблено космическим поглощением, которое ослабляет излучение различных длин волн по-разному. Для его учета надо знать прозрачность межзвездной среды в зависимости от длины волны. Эта зависимость различна в разных частях Галактики.

Кроме того, излучение звезды проходит и через земную атмосферу, которая неодинаково прозрачна для излучений различных длин волн. Это также надо учитывать. Только после введения этих поправок можно применять формулу (3.23).

Визуальные звездные величины. Визуальный блеск звезды является мерой ощущения, возникающего в зрительном аппарате человека. Глаз человека неодинаково чувствителен к излучению различных длин волн, что описывается функцией $\beta(\lambda)$. Таким образом, для определения воспринимаемой глазом интенсивности излучения, т. е. визуального блеска звезды, надо составить сумму произведений:

$$E' = \sum_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \beta(\lambda) E(\lambda) \Delta\lambda. \qquad (3.25)$$

Используя затем формулу (3.23) и введя определенный условный нуль-пункт, мы получаем визуальные звездные величины. Для их характеристики надо указать, к каким длинам волн наиболее чувствителен приемник излучения. Человеческий глаз в среднем наиболее чувствителен к излучению, имеющему длину волны 530 нм (1 нм = 1 нанометр = 10^{-9} м).

Однако следует заметить, что у разных людей чувствительность глаз различна. У некоторых людей глаза чувствительнее к красным лучам, в то время как у других — к синим.

Кроме того, кривая спектральной чувствительности глаза зависит и от интенсивности излучения наблюдаемого объекта. Если наблюдается яркий объект, то глаз, в среднем, наиболее чувствителен к излучению, имеющему длину волны 560 нм.

В ночное же время глаз меняет свою чувствительность. Теперь наибольшая чувствительность приходится на долю излучения, имеющего длину волны 510 нм. Это приходится учитывать при визуальных фотометрических наблюдениях.

Фотографические звездные величины. Фотографическим блеском звезды называется тот блеск, который воспринял бы наблюдатель при визуальных наблюдениях, если бы спектральная чувствительность его глаза совпадала со спектральной чувствительностью несенсибилизированной фотографи-

ческой пластинки. Вводя в формулу (3.25) коэффициент $\beta'(\lambda)$, характеризующий зависимость чувствительности фотографической пластинки от длины волны (его можно определить опытным путем для каждой λ), мы получим фотографический блеск звезды $E'_{ф}$. Введя его в формулу (3.23), мы получим разность фотографических звездных величин двух наблюдавшихся звезд. Было принято, что звезды спектрального класса A0, имеющие звездные величины, заключенные в пределах от 5,5 до 6,5, обладают одинаковыми фотографическими и визуальными звездными величинами.

Разность между фотографической и визуальной звездными величинами одной и той же звезды называется *показателем цвета*

$$C = m_{фот} - m_{виз}. \tag{3.26}$$

Красные звезды имеют положительные показатели цвета, а голубоватые — отрицательные.

Если у визуальных звездных величин «эффективная» длина волны $\lambda = 530$ нм, то у фотографических она равна 425 нм.

Получаемые из наблюдений звездные величины, как визуальные, так и фотографические, должны быть освобождены от влияния атмосферного земного поглощения. От влияния межзвездного поглощения освободить их, без сложного исследования спектров, не удается.

Фотовизуальные звездные величины. Визуальные звездные величины определяются путем сравнения блеска звезд, определяемых при помощи фотометра. О блеске звезд судит глаз наблюдателя. Эти наблюдения требуют большого количества времени и отягощены существенными систематическими ошибками. Поэтому визуальные фотометрические наблюдения заменили фотовизуальными. Для этой цели подобрали соответствующие светофильтры и кривые спектральной чувствительности фотографических пластинок (ортохроматических) так, чтобы они в своем суммарном действии могли заменить глаз человека. Иными словами, кривая спектральной чувствительности созданной системы должна была совпадать с кривой спектральной чувствительности глаза. После этого по таким снимкам можно было определять звездные величины звезд, которые называются *фотовизуальными*.

Созданы фотометрические каталоги и специальные каталоги стандартных областей, которые используют для «дифференциальных» привязок звездных величин определяемых звезд (см. § 6, гл. III).

Звездные величины системы U, B, V. Значительное увеличение точности фотометрических определений, вызванное внедрением фотоэлектрического способа наблюдений, потребовало пересмотра тех основных предпосылок, на которых были основаны созданные ранее визуальная и фотографическая системы звездных величин. Были разработаны стандартные типы фотоумножителей и подобраны соответствующие светофильтры.

История создания широкополосных систем звездных величин очень хорошо описана в главе В. Л. Страйжиса в книге «Методы исследования переменных звезд» (М.: Наука, 1971), к которой мы и отсылаем читателя. Из этой книги мы приводим данные об эффективных длинах волн и полуширинах соответствующих спектральных областей:

Наименование системы	U	B	V
Эффективная длина волны в Å	3640	4415	5505
Полуширина области в Å	440	960	830

Из этой таблички видно, что система U измеряет звездные величины в ультрафиолетовой области спектра, система B — в области, близкой к той, которую использует обычная фотографическая пластинка (величины B соответствуют величинам $m_{фот}$), а система V — в визуальной области (величины V примерно соответствуют обычным $m_{виз}$).

Эта система, хотя и не является идеальной, дает более подробную информацию об излучении звезды, чем описанные выше системы визуальных и фотографических величин. Вместо одного показателя цвета мы имеем теперь два. Показатель цвета $U—B$ позволяет сравнить интенсивности излучения в ультрафиолетовых и синих лучах, а показатель $B — V$ — в синих и желтых. Как мы увидим дальше, по этим показателям цвета можно построить диаграмму, отложив на горизонтальной оси $B — V$, а на вертикальной $U — B$. Тогда каждая звезда изобразится на ней точкой, а совокупности звезд расположатся в виде определенных последовательностей, что позволяет сделать важные выводы о физических свойствах звездных оболочек и самих звезд. Кроме того, эта диаграмма позволяет судить о межзвездном поглощении света (см. § 8 гл. III).

Кроме системы U, B, V, разрабатывались и другие многоцветные системы, в которых определяются красные, близкие инфракрасные и далекие инфракрасные звездные величины. За подробностями отсылаем читателя к упомянутой выше работе В. Л. Страйжиса. В частности, наиболее научно обоснованная система узкополосных звездных величин разработана В. Л. Страйжисом и его сотрудниками.

Итак, мы видим, что наиболее свободной от дополнительных условий является болометрическая система звездных величин. Кроме нее, иногда вводили *радиометрические* звездные величины $m_{рад}$, которые определяли из наблюдений, производимых при помощи термоэлемента. Разность между визуальной звездной величиной и радиометрической называется *тепловым индексом*.

Разность между болометрической и визуальной звездными величинами называется *болометрической поправкой* $BC = m_{бол} - m_{виз}$. Она зависит главным образом от спектрального класса

звезды; вычислены таблицы болометрических поправок. Труднее всего получить болометрические поправки для низкотемпературных звезд. Приводим их значения в табл. XI.

Таблица XI

Главная последовательность. Звезды V класса светимости		Сверхгиганты. Звезды Ia класса светимости		Гиганты. Звезды III класса светимости	
Спектральный класс	Поправка	Спектральный класс	Поправка	Спектральный класс	Поправка
O5	—4,6	B0	—3,0	G0	—0,1
B0	—3,0	A0	—0,7	G5	—0,3
B5	—1,6	F0	—0,2	K0	—0,6
A0	—0,68	G0	—0,3	K5	—1,0
A5	—0,30	G5	—0,6	M0	—1,7
F0	—0,10	K0	—1,0	M5	—3,0
F5	0,00	K5	—1,6		
G0	—0,03	M0	—2,5		
G5	—0,10	M5	—4,0		
K0	—0,20				
K5	—0,58				
M0	—1,20				
M5	—2,1				

Абсолютные звездные величины. Видимый блеск и видимая звездная величина звезды зависят от ее расстояния от наблюдателя r (его мы будем выражать в парсеках). Чтобы освободиться от влияния расстояния, введено понятие об абсолютном блеске и абсолютной величине звезды.

Абсолютным блеском звезды L называется тот блеск, который она имела бы, будучи удалена от наблюдателя на расстояние, равное 10 парсекам (один парсек равен $3{,}085 \cdot 10^{18}$ см).

Так как освещенность убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, то абсолютный блеск и видимый блеск E' связаны соотношением

$$\frac{L}{E'} = \frac{r^2}{100} = 2{,}512^{m-M}. \tag{3.27}$$

В эту формулу также введены следующие величины: видимая звездная величина звезды m и ее *абсолютная звездная величина* M, под которой понимают ту звездную величину, которую имела бы звезда, будучи удаленной на расстояние, равное 10 парсекам.

Логарифмируя и произведя простые преобразования, получаем

$$M = m + 5 - 5 \lg r. \tag{3.28}$$

Это очень важная формула, так как она позволяет вычислить абсолютную величину звезды, если известно расстояние, и вычислить расстояние, если известна абсолютная величина, по формуле

$$\lg r = \frac{m - M}{5} + 1. \tag{3.29}$$

Абсолютные величины могут быть болометрическими, визуальными, фотографическими и т. п.

Очень часто вместо абсолютной звездной величины используют понятие о светимости звезды. Светимость — это отношение абсолютного блеска звезды к абсолютному блеску Солнца.

Видимая звездная величина Солнца в системе V равна —26,78. Абсолютная величина Солнца в той же системе V равна $+4,77$. Светимость звезды вычисляется по формуле

$$\frac{L}{L_{\odot}} = 1,91 - 0,4M_V, \tag{3.30}$$

где через M_V обозначена абсолютная величина звезды в системе V.

Формулы (3.28) и (3.29) выведены в предположении отсутствия межзвездного поглощения света. Так как оно может быть весьма существенным, его приходится учитывать и вместо формулы (3.28) применять более точную:

$$M = m + 5 - 5\lg r - A(r), \tag{3.31}$$

где $A(r)$ — пропорциональное расстоянию поглощение света (см. § 8).

Астрономические единицы измерения яркости. Для измерения яркости в астрономии иногда используется особая единица — звездная величина с квадратного градуса (минуты или секунды).

Площадь всей сферы единичного радиуса равна 4π. Одна секунда дуги, будучи выражена в радианной мере, равна

$$1'' = \frac{2\pi}{360 \times 60 \times 60} = \frac{1}{206\,265} = (2,063 \cdot 10^5)^{-1};$$

так как под квадратной секундой мы понимаем площадь маленького квадрата со стороной, равной одной секунде дуги, то площадь всей сферы содержит $\frac{4\pi}{(1'')^2} = 4\pi\,(2,063 \cdot 10^5)^2$ квадратных секунд. Один стерадиан содержит их в 4π раз меньше, и, таким образом, в одном стерадиане

$$\left.\begin{aligned} N_3 &= 4,256 \cdot 10^{10} \text{ кв. с}, \\ N_2 &= (3,4377 \cdot 10^3)^2 = 1,182 \cdot 10^7 \text{ кв. мин}, \\ N_1 &= (57,296)^2 = 3282,8 \text{ кв. град.} \end{aligned}\right\} \tag{3.32}$$

В формулу (3.23) подставим вместо E'_n величину E'_0 — освещенность, создаваемую одним люксом, и вместо n — «звездную величину люкса» m_0, понимая под ней звездную величину такой звезды, которая создала бы освещенность, равную E'_0. Получим

$$m_0 - m = 2,5\lg\left(\frac{E'_m}{E'_0}\right). \tag{3.33}$$

Мы знаем, что вне земной атмосферы $m_0 = -13,89$, а если учесть поглощение света в земной атмосфере, то $m_0 = -14,18$.

Пусть теперь избранная нами площадка имеет яркость B стильбов. Согласно формуле (3.7) освещенность $E' = B \cdot \omega$ сб. Но один стильб создает освещенность, равную 10^4 люксов. Таким образом,

$$1\ \text{сб} = \frac{10^4 E_0'}{\text{ср}},$$

и потому

$$\frac{E'}{E_0'} = \frac{E_m'}{E_0'} = \frac{B \cdot \omega \cdot 10^4}{\text{ср}} = \frac{10^4 B}{N},$$

где N — число выбранных нами площадок в одном стерадиане.

Подставляя в формулу (3.33), получаем

$$m_0 - m = 2,5 \lg \left(\frac{10^4 B}{N} \right) = 10 + 2,5 \lg B - 2,5 \lg N$$

или

$$m = -24,18 - 2,5 \lg B + 2,5 \lg N. \qquad (3.34)$$

После подстановки чисел из (3.32) находим звездную величину площадок:

$$\left.\begin{aligned} 1\ \text{кв. градус}\ m^\circ &= -15,39 - 2,5 \lg B, \\ 1\ \text{кв. минута}\ m' &= -6,50 - 2,5 \lg B. \\ 1\ \text{кв. секунда}\ m'' &= +2,38 - 2,5 \lg B. \end{aligned}\right\} \qquad (3.35)$$

Последние формулы бывают весьма полезными при выполнении некоторых расчетов. Приведем один из примеров.

Известно, что ночное небо обладает собственным свечением — это светится наша атмосфера. Измерения показали, что яркость ночного неба близка к 10^{-8} стильб. Первая из формул позволяет оценить, какое количество излучения мы воспринимаем от 1 кв. градуса ночного неба. Подставляя $B = 10^{-8}$ стильб, находим $m = 4,61$ зв. вел.

Теперь рассчитаем, какое количество света идет к нам от 100 кв. градусов ночного неба. В первую формулу надо подставить $B = 10^{-6}$. Теперь мы получим $m = -0,39$ зв. вел.

Какое практическое значение имеет этот расчет? Допустим, что мы организуем фотоэлектрические наблюдения метеоров. Для этого надо собрать на фотокатоде фотоумножителя свет от возможно большего участка звездного неба, скажем, от 100 кв. градусов, чтобы повысить вероятность регистрации метеора. В таком случае, как показал расчет, засветка фотокатода будет такой же, как от звезды — 0,4 зв. вел. Следовательно, для регистрации дополнительного сигнала от метеора надо, чтобы его блеск превосходил блеск звезд — 1-й звездной величины!

§ 5. Поглощение света в земной атмосфере

При обработке большинства фотометрических наблюдений приходится учитывать поглощение света небесных светил в земной атмосфере — атмосферную экстинкцию. Атмосферная масса $M(z)$, через которую проходят лучи звезды, зависит от зенитного расстояния; составлены подробные таблицы, выражающие эту зависимость.

Формула для учета атмосферной экстинкции такова:

$$m_\lambda(z) = m_{\lambda_0} + k_\lambda M(z), \tag{3.36}$$

где m_{λ_0} — внеатмосферная звездная величина светила, k_λ — коэффициент экстинкции, а $m_\lambda(z)$ — видимая звездная величина. Все эти величины отнесены к определенной длине волны λ, так как коэффициент экстинкции зависит от длины волны.

Величина k_λ не остается постоянной, а изменяется ото дня ко дню, а иногда даже на протяжении одной ночи. Прозрачность земной атмосферы зависит от многих метеорологических факторов. Поэтому, если нужно точно учесть поглощение света в земной атмосфере, надо в тот же вечер попутно с определениями блеска небесных светил выводить величину k_λ.

Как видно из формулы (3.36), для определения величины k_λ надо определить видимые звездные величины одной и той же звезды при двух различных зенитных расстояниях. Тогда мы получим два уравнения:

$$m_\lambda(z_1) = m_{\lambda_0} + k_\lambda M(z_1),$$
$$m_\lambda(z_2) = m_{\lambda_0} + k_\lambda M(z_2).$$

Вычитая одно уравнение из другого, получим

$$k_\lambda = \frac{m_\lambda(z_2) - m_\lambda(z_1)}{M(z_2) - M(z_1)}.$$

Этот способ определения k_λ предполагает, что мы можем получить видимые звездные величины звезд путем сравнения их блеска с блеском лабораторного эталона и что величина k_λ не изменялась при изменении зенитного расстояния звезды от z_1 до z_2. Определения могут быть сделаны еще более точными, если наблюдать одну и ту же звезду при разных зенитных расстояниях многократно. Тогда мы можем написать систему уравнений (3.36) для каждого зенитного расстояния и, зная воздушные массы, вычислять неизвестные m_{λ_0} и k_λ по способу наименьших квадратов.

Для таких определений в фотоэлектрических фотометрах устанавливаются радиоактивные люминофоры, свечение которых время от времени замеряется.

Если нет возможности выполнить сравнение с лабораторным стандартом и определить звездную величину $m_\lambda(z)$, то при приближенных определениях можно ограничиться сравнением блесков двух близких к зениту звезд сравнения с блеском звезды, на-

блюдаемой при большом зенитном расстоянии. Если звезда имеет зенитное расстояние, меньшее 20°, то с точностью до 5% можно считать ее воздушную массу равной единице. Тогда ее видимая звездная величина будет согласно формуле (3.36) равна

$$m_\lambda (z) = m_{\lambda_0} + k_\lambda.$$

Выбрав две близкие к зениту звезды сравнения, мы можем написать два равенства,

$$m_\lambda (z_A) = m_{\lambda A} + k_\lambda \quad \text{и} \quad m_\lambda (z_B) = m_{\lambda B} + k_\lambda,$$

в которых $m_{\lambda A}$ и $m_{\lambda B}$ — внеатмосферные звездные величины звезд A и B, а $m_\lambda (z_A)$ и $m_\lambda (z_B)$ — их видимые звездные величины. Отсюда видно, что разность их видимых звездных величин равна разности заатмосферных величин:

$$m_\lambda (z_B) - m_\lambda (z_A) = m_{\lambda B} - m_{\lambda A}.$$

Выполнив оценку блеска третьей звезды, находящейся на зенитном расстоянии z, по любому из способов, Пикеринга или Нейланда—Блажко (см. § 17, гл. IV), мы получаем

$$ApCqB.$$

Из этой оценки вычисляем:

$$m_\lambda (z_C) = m_\lambda (z_A) + \frac{p}{p+q} [m_\lambda (z_B) - m_\lambda (z_A)] =$$

$$= m_{\lambda A} + k_\lambda + \frac{p}{p+q} (m_{\lambda B} - m_{\lambda A}),$$

но

$$m_{\lambda A} + \frac{p}{p+q} (m_{\lambda B} - m_{\lambda A}) = m_{\lambda C} (z),$$

где $m_{\lambda C}$ — внеатмосферная звездная величина наблюдавшейся звезды. Таким образом,

$$m_\lambda (z_C) = m_{\lambda C} (z) + k_\lambda.$$

Но для этой же звезды мы находим в каталоге ее внеатмосферную звёздную величину $m_{\lambda C}$ и, следовательно, $m_\lambda (z_C) = m_{\lambda C} + k_\lambda M (z)$. Приравнивая оба выражения для $m_\lambda (z_C)$, находим

$$m_{\lambda C} (z) + k_\lambda = m_{\lambda C} + k_\lambda M (z),$$

откуда

$$k_\lambda = \frac{m_{\lambda C} (z) - m_{\lambda C}}{M (z) - 1}. \tag{3.37}$$

Таким образом, для определения величины k_λ достаточно одной оценки.

Вместо величины k_λ часто используют величину коэффициента прозрачности p_λ, который связан с k_λ соотношением

$$k_\lambda = -2{,}5 \lg p_\lambda.$$

Параметр p_λ, так же как параметр k_λ, зависит от длины волны, что можно видеть из табл. XII.

Таблица XII

λ, Å	p_λ	λ, Å	p_λ	λ, Å	p_λ
6900	0,804	4850	0,723	3400	0,456
6500	0,803	4360	0,676	3300	0,412
6000	0,776	4000	0,614	3260	0,367
5200	0,756	3600	0,566	3200	0,322

До сих пор мы рассматривали поглощение монохроматического излучения определенной длины волны. Однако глаз, фотографическая пластинка и фотоумножитель суммируют излучения различных длин волн, «умножая» их на некоторые коэффициенты, зависящие от длины волны и спектральной чувствительности. В результате получается сходная, но несколько иная картина. Коэффициент k_λ оказывается зависящим также и от спектрального класса звезды. Поэтому используют формулы:

для визуальных лучей

$$m_{\text{виз}}(z) - m_{\text{виз}}(0) = k_{\text{виз}} M(z)$$

и для фотографических лучей

$$m_{\text{фот}}(z) - m_{\text{фот}}(0) = k_{\text{фот}} M(z) + k'_{\text{фот}} [M(z)]^2 + k''_{\text{фот}} [M(z)]^3.$$

Типовые коэффициенты приведены в табл. XIII.

Таблица XIII

Спектральный класс звезды	$k_{\text{виз}}$	$k_{\text{фот}}$	$k'_{\text{фот}}$	$k''_{\text{фот}}$
B	0,385	0,752	+0,00300	−0,0405
A	0,335	0,695	+0,00150	−0,0265
F	0,335	0,654	+0,00175	−0,0255
G	0,332	0,605	+0,00182	−0,0255
K	0,330	0,560	+0,00025	−0,0100
M	0,325	0,516	+0,00025	−0,0065

Из этой таблицы видно, что для визуальных лучей коэффициент $k_{\text{виз}}$ почти не зависит от спектрального класса звезды. Для выполнения всех этих вычислений надо знать воздушные массы $M(z)$. Существуют необходимые таблицы. Однако при их

отсутствии можно полагать $M(z)$ равной $\sec z$ с небольшой поправкой, зависящей от зенитного расстояния. Эти поправки приведены в табл. XIV.

Таблица XIV

z	Поправка	z	Поправка	z	Поправка	z	Поправка
0°	0,000	61°	—0,006	64°	—0,008	67°	—0,013
30	—0,001	62	—0,007	65	—0,010	68	—0,015
60	—0,005	63	—0,007	66	—0,011	69	—0,017

Для бóльших зенитных расстояний нужно пользоваться специальными таблицами.

Учет атмосферного поглощения приходится производить во всех случаях, когда наблюдаются небесные светила на больших зенитных расстояниях, например, при определении полного блеска Луны во время лунного затмения или при оценках блеска искусственных спутников Земли. Особо точные фотоэлектрические наблюдения требуют учета экстинкции при любых зенитных расстояниях.

§ 6. Астрофизические звездные каталоги и стандарты

Звездные обозрения. *Боннское Обозрение* содержит приближенные координаты звезд более ярких, чем звезды 9—10 визуальной величины, отнесенные к эпохе 1855 года, а также звездные величины, основанные на грубых глазомерных оценках, точность которых невелика. Каталог сопровождается атласом, содержащим 64 карты звездного неба к северу от склонения —23°. На картах, таким образом, изображены все звезды, которые можно видеть в телескоп с отверстием 2—3 дюйма (5—7 см).

Каталог разбит на зоны в соответствии со склонениями; каждая из зон имеет ширину, равную градусу. Внутри каждой зоны все звезды перенумерованы в порядке их прямых восхождений, например, BD + 4°1375 отыскивается в зоне +4° по ее номеру 1375.

Продолжениями Боннского Обозрения, распространенными на южное полушарие, являются *Кордовское* и *Кейпское Обозрения*. Они также разбиты на градусные зоны.

Хотя для каждой звезды, вошедшей в Обозрение, указана ее звездная величина, обозрения не являются фотометрическими каталогами; эти звездные величины могут служить только для ориентировки. Вместе с тем эти обозрения — незаменимое пособие для организации наблюдений.

Характер обозрения имеет и специальный астрофизический каталог *Генри Дрепера*. Он содержит координаты звезд, их при-

ближенные звездные величины и данные о спектральных классах звезд. В нем можно найти спектральные классы звезд, как правило, более ярких, чем звезды 8—$8^1/_2$ звездной величины.

Фотометрические каталоги. *Потсдамский каталог*, составленный Мюллером и Кемпфом на основе определений, сделанных визуальным фотометром Целльнера, содержит 14 тысяч звезд, которые по Боннскому Обозрению ярче 7,5 звездной величины. Впоследствии каталог был дополнен данными о звездах, входящих в зону от 0° до —10°, и о звездах, которые расположены севернее суточной параллели +75°, но более слабых. Данные Потсдамского каталога обозначаются буквами PD, а дополнительного — PPD.

Второй большой каталог визуальных звездных величин создан на Гарвардской обсерватории, где были определены при помощи визуальных фотометров звездные величины свыше 90 тысяч звезд. На основе этих наблюдений был составлен и опубликован в 1908 г. основной каталог визуальных звездных величин 9110 звезд вплоть до 6,5 зв. вел., т. е. видимых невооруженным глазом. Этот каталог называется *Ревизованной гарвардской фотометрией* и обозначается HRP. Кроме того, в «Гарвардских анналах» опубликованы также зонные каталоги, уже менее полные, но содержащие сведения о более слабых звездах.

Укажем также, что ряд фотометрических каталогов был составлен и в других обсерваториях, но они менее содержательны.

Каталоги фотографических звездных величин. Развитие астрофотографии и фотографической звездной фотометрии привело к созданию каталогов фотографических звездных величин. В 1910—1912 гг. было опубликовано наиболее фундаментальное исследование К. Шварцшильда, который составил обширный каталог фотографических звездных величин звезд, расположенных в экваториальной зоне неба от экватора до суточной параллели +20°. Этот каталог называется «*Геттингенская актинометрия*» и является одним из самых точных. Другой большой каталог был примерно в то же самое время создан в Йеркской обсерватории. Он содержит фотографические и фотовизуальные звездные величины звезд ярче 7,5 зв. вел. от суточной параллели +73° до северного полюса.

Два больших каталога фотографических звездных величин были созданы С. М. Белявским и опубликованы в Трудах Пулковской обсерватории в 1915 и 1932 гг.

Все эти каталоги носят характер фотометрических обозрений. Они сходны по своим задачам с обозрениями типа Боннского, но содержат гораздо более точные, основанные на фотометрических определениях, данные о звездных величинах.

Фотоэлектрические каталоги звездных величин. После освоения фотоэлектрического способа наблюдений и разработки системы U, B и V, массовые определения звездных величин звезд стали обычными. Огромный сводный каталог

таких определений составлен и опубликован в 1968 г. Бланко, Демерсом, Дугласом и Фитцджеральдом в Трудах Вашингтонской обсерватории. Каталог содержит очень много данных; в нем можно отыскать точные (с точностью до 0,01 зв. вел.) звездные величины U, B и V почти всех ярких звезд, а также иногда сведения и об очень слабых, избранных, звездах.

Фотометрические стандарты. Составление полного звездного каталога — предприятие очень трудоемкое, особенно, если вспомнить, что по мере ослабления видимого блеска звезд их число быстро возрастает. Поэтому астрономы уже давно пошли по пути создания полных обозрений небольших по площади областей неба, так называемых стандартов.

Одним из таких стандартов является *Северный Полярный Ряд*. В этой области неба были определены как фотографические, так и фотовизуальные звездные величины почти ста звезд от 2-й до 20-й звездной величины.

Создание такого стандарта было крайне необходимо. При определениях звездных величин звезд астрономы «привязывались» к данным Северного Полярного Ряда, выполняя это как при визуальных, так и при фотографических исследованиях. Однако существуют известные неудобства при использовании Полярного Ряда и потому стали создавать иные стандарты, расположенные в других областях неба. В качестве стандарта были выбраны Плеяды. Помимо Плеяд было выбрано 48 областей гарвардских стандартных площадок. Они расположены на небе в следующем порядке. Шесть стандартов имеют склонения $\pm 75°$ и прямые восхождения 4^h, 12^h и 20^h. Восемнадцать стандартов равномерно расположены вдоль суточных параллелей $\pm 45°$ с прямыми восхождениями от 1^h20^m через каждые 2^h40^m. 24 стандартные области выбраны вдоль суточных параллелей $\pm 15°$, с центрами при всех нечетных прямых восхождениях (1^h, 3^h, ...). В этих стандартных областях определены фотовизуальные и фотографические звездные величины вплоть до звезд 15—17 зв. вел.

Однако гарвардские стандарты не вполне удобны, так как размещены на небе очень далеко друг от друга. Поэтому были созданы стандарты Виртанена и Высотского, которые равномерно покрывают все небо и удалены друг от друга на 10°. Эти стандарты содержат фотовизуальные звездные величины звезд от 7-й до 10-й зв. вел.

Более полувека назад Каптейн предложил выбрать на небесной сфере 206 избранных площадей, которые стали обозначаться SA (Selected Areas). Они расположены так: по одной около северного и южного полюсов мира, по шесть площадок на суточных параллелях $\pm 75°$, по 12 — на параллелях $\pm 60°$ и по 24 на параллелях $\pm 45°$, $\pm 30°$, $\pm 15°$ и 0°. Было решено подвергнуть эти площадки, размеры которых около 3°, всесторонним исследованиям. В частности, астрономы Бергедорфской обсерватории определили спектральные классы и фотографические звездные величины всех

звезд вплоть до 12—13 зв. вел., входящие в северные площадки SA. Это работа типа обозрения. Советские астрономы, главным образом из Абастумани, определили для многих звезд, входящих в SA, фотовизуальные звездные величины с целью определения показателей цвета и изучения межзвездного поглощения. Эти подробные звездные каталоги также полезны для привязки к ним неизвестных определяемых звездных величин.

Фотоэлектрическим способом были созданы прекрасные стандарты звездных величин в системе U, B и V в Плеядах, Гиадах, Яслях, Волосах Вероники и в окрестностях многих звездных скоплений. Эти стандарты воспроизведены в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии». Там же приведен наилучший каталог звездных величин ярких звезд.

В заключение заметим, что очень ценный и полный компилятивный каталог, содержащий не только звездные величины, но и другие важные сведения, такие как собственные движения, лучевые скорости и т. п., составлен А. Бечваржем и издан Академией наук Чехословакии.

Недавно вышел в свет «Фотометрический и спектральный каталог ярких звезд» (Киев: Наукова думка, 1979), составленный Н. С. Комаровым, А. В. Драгуновой, В. Ф. Карамышом, Л. Ф. Орловой и В. А. Позигуном. В каталоге содержатся сведения о 6531 яркой звезде, основанные на фотоэлектрических и спектральных наблюдениях. По содержанию каталог сходен с каталогом Бечваржа, но гораздо точнее его.

Сравнение фотометрических каталогов. Каждый из каталогов звездных величин обладает бо́льшими или меньшими систематическими ошибками. Они могут быть выявлены путем сравнения каталогов между собой. Для этого нужно, чтобы в двух сравниваемых каталогах содержались данные об общих звездах. Тогда для общих звезд образуются разности $\delta_i = m_{1i} - m_{2i}$, где через m_{1i} обозначены звездные величины, взятые из первого каталога, а через m_{2i} — из второго.

Разность δ_i — функция двух аргументов: показателя цвета C_i и звездной величины. Эту функцию можно с достаточной степенью точности представить первыми членами разложения

$$\delta_i = a + bm_{1i} + cC_i, \qquad (3.38)$$

где a, b и c — подлежащие определению неизвестные параметры. Член a — поправка нуль-пункта, член bm_{1i} — уравнение блеска и член cC_i — цветовое уравнение.

Например, сравнение Потсдамского каталога (PD) с Гарвардским (HRP) привело к формуле

$$\text{PD} - \text{HRP} = 0{,}27 + 0{,}025\,(\text{HRP} - 6{,}5) - 0{,}22C.$$

Здесь 0,27 — поправка нуль-пункта, 0,025 (HRP — 6,5) — уравнение блеска, — 0,22C — уравнение цвета.

Подобные формулы позволяют преобразовывать звездные величины из системы одного каталога в систему другого.

Подробное изложение вопроса о шкалах звездных величин можно найти в статье П. П. Паренаго в IV томе «Успехов астрономических наук» (1948 г.). Более подробное описание проблемы фотоэлектрических стандартов дано в главе А. С. Шарова в книге «Методы исследования переменных звезд» (М.: Наука, 1971), а достаточно полный перечень фотоэлектрических стандартов и их описание содержатся в статье А. С. Шарова и Н. Н. Якимовой, опубликованной в Трудах Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга, том 40, 1970 г.

§ 7. Температуры звезд

Распределение энергии в спектре звезды или ее показатель цвета позволяют приближенно решить вопрос о температуре фотосферы. В основу этих рассуждений положено предположение о том, что в ограниченном участке спектра излучение звезды может быть представлено формулой Вина (3.21).

Обозначим через E_1' блеск звезды, отнесенный к эффективной длине волны λ_1, а через E_2' — блеск звезды, отнесенный к эффективной длине волны λ_2. Обозначим через S площадь фотосферы, а через K_1 и K_2 — коэффициенты, зависящие от спектральной чувствительности приемника излучения (глáза, пластинки, фотоэлемента). Так как яркость фотосферы, по нашему предположению, описывается формулой Вина, а полное излучение звезды можно считать равным произведению яркости на площадь, то справедливы два уравнения:

$$E_1' = K_1 S c_1 \lambda_1^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_1 T}} \quad \text{и} \quad E_2' = K_2 S c_1 \lambda_2^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda_2 T}}.$$

Разделив почленно оба соотношения, получим

$$\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{K_1}{K_2}\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5 e^{\frac{c_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)}.$$

С другой стороны, имеем

$$\frac{E_1'}{E_2'} = 2{,}512^{m_2 - m_1} = 2{,}512^C,$$

где через C обозначен, как обычно, показатель цвета.

Объединив обе формулы, получим

$$2{,}512^C = \frac{K_1}{K_2}\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5 e^{\frac{c_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)}$$

или, логарифмируя,

$$0{,}4C = \lg\left[\frac{K_1}{K_2}\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5\right] + \frac{c_2}{T}\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)\lg e.$$

Введя обозначения

$$A = 2{,}5 \lg \left[\frac{K_1}{K_2}\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^5\right], \quad B = 2{,}5 \lg e \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right) c_2,$$

найдем

$$C = A + \frac{B}{T}. \qquad (3.39)$$

Отсюда можно вычислить температуру T, которая называется цветовой температурой. Подставив, например, числа $\lambda_1 = \lambda_{виз} = 529$ нм и $\lambda_2 = \lambda_{фот} = 425$ нм, и принимая для звезд спектрального класса A величины $T = 11\,200°$ и $C = 0$, мы можем «прокалибровать» данную формулу и получить численно

$$A = -0{,}64, \quad B = 7200° \quad \text{и} \quad T = \frac{7200°}{C + 0{,}64}. \qquad (3.40)$$

Цветовая температура только приближенно характеризует истинную температуру звезды. Практика показала, что она зависит от использованных эффективных длин волн λ_1 и λ_2, так как невозможно описать распределение энергии в спектре звезды одним значением T.

Значительно более определенное значение температуры можно получить, исходя из следующих простых рассуждений. Пусть S — по-прежнему означает площадь фотосферы. Предполагая, что фотосфера излучает как абсолютно черное тело, можно считать, что мощность излучения единицы поверхности звезды определяется законом Стефана—Больцмана, т. е. формулой (3.19). Тогда полная мощность излучения энергии звездой равна

$$E_{бол} = S\sigma T^4_{эф}. \qquad (3.41)$$

Входящая в это выражение температура $T_{эф}$ называется *эффективной*.

Из этой формулы можно получить способ вычисления радиусов звезд, если считать, что звезды шарообразны:

$$\frac{E_{1\,бол}}{E_{2\,бол}} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{S_1}{S_2}\,\frac{T^4_{1\,эф}}{T^4_{2\,эф}} = \frac{R_1^2}{R_2^2}\,\frac{T^4_{1\,эф}}{T^4_{2\,эф}} = 2{,}512^{M_{2\,бол} - M_{1\,бол}}$$

или

$$0{,}4\,(M_{2\,бол} - M_{1\,бол}) = 2 \lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right) + 4 \lg\left(\frac{T_{1\,эф}}{T_{2\,эф}}\right)$$

и окончательно

$$\lg\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = 0{,}2\,(M_{2\,бол} - M_{1\,бол}) - 2 \lg\left(\frac{T_{1\,эф}}{T_{2\,эф}}\right). \qquad (3.42)$$

§ 8. Диаграмма Герцшпрунга—Рессела и диаграмма показателей цвета

Накопление данных об абсолютных величинах звезд, их спектральных классах, цветовых и эффективных температурах и показателях цвета позволило выполнить ряд важных статистических сопоставлений. Исторически первое и наиболее важное такое сопоставление было осуществлено в виде диаграммы, носящей имена Герцшпрунга и Рессела.

На этой диаграмме по горизонтальной оси откладывают спектральные классы (ранние слева, а поздние справа), а по вертикальной — абсолютные визуальные звездные величины, располагая звезды высокой светимости в верхней части диаграммы. Можно откладывать по горизонтальной оси вместо спектральных классов показатели цвета, скажем, $B-V$, так, чтобы они возрастали слева направо. Иногда вместо абсолютных величин откладывают по вертикальной оси светимости в логарифмическом масштабе.

Каждая из звезд представляется на этой диаграмме точкой. Точки не заполняют всей диаграммы, а располагаются на ней последовательностями. Наиболее полное представление об этих последовательностях можно получить, если изобразить графически числовые данные, приведенные П. Г. Куликовским в табл. 72 книги «Справочник любителя астрономии», что и сделано нами на рис. 88. На этом рисунке выделены последовательности звезд различных классов светимости. Они уже были описаны выше, кроме последовательности бело-голубых звезд низкой светимости — белых карликов. Это «сверхплотные» звезды, у которых средняя плотность вещества может доходить до 10^6 г/см^3 и даже выше.

Диаграмме Герцшпрунга—Рессела обычно дается эволюционное толкование. Во время эволюции представляющая звезду точка описывает на ней определенный «трек», который можно рассчитать теоретически. По современным взглядам этот трек состоит из следующих частей. В начальной стадии гравитационного сжатия звезды точка выходит на диаграмму из правой ее части и опускается вниз до выхода на начальную главную последовательность. Затем начинается стадия «горения» водорода в звездных недрах и постепенного превращения его в гелий. Звезда надолго «застревает» на главной последовательности. После этого точка отходит от главной последовательности вверх, так как звезда, отслаивая оболочку, превращается в гигант. После рассеяния оболочки в пространстве оголяется плотное ее ядро и звезда превращается в белый карлик.

Кроме того, при исследовании звездных движений и распределения звезд в Галактике выяснилось, что «звездное» население неоднородно по своему составу. Наряду с очень старыми звездами существуют и очень молодые. Так, звезды пониженной светимости,

субкарлики, принадлежат к старым звездам. Они занимают на диаграмме иное положение по сравнению с обычными звездами главной последовательности, располагаясь на рис. 88 вдоль линии, помеченной индексом VI.

Каждому участку эволюционного трека соответствует определенное время. Таким образом, изучая ту или иную совокупность звезд (например, звездное скопление), по виду характерной

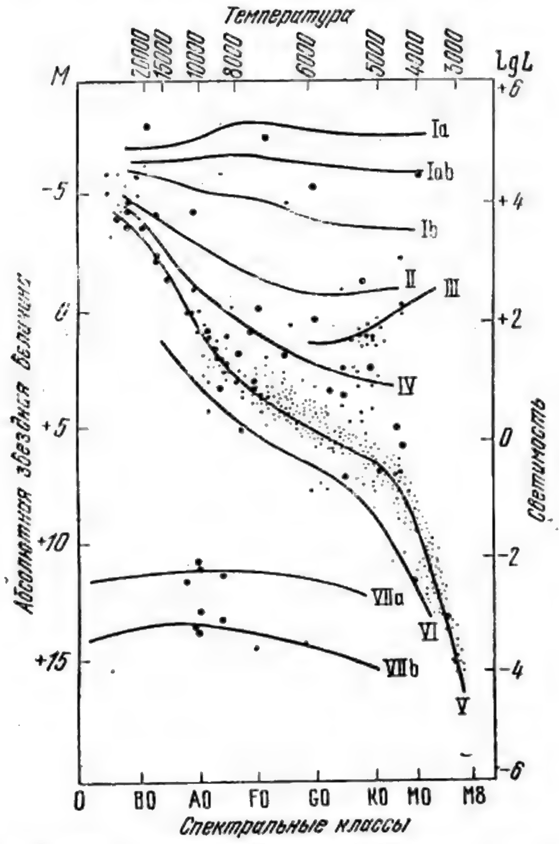


Рис. 88. Диаграмма Герцшпрунга — Рессела. Показаны классы светимости.

для него последовательности можно судить о возрасте данной группы.

Таковы главные применения диаграммы Герцшпрунга—Рессела.

Помимо этой диаграммы была построена другая — диаграмма показателей цвета. Откладывая по горизонтальной оси показатели $B-V$, а по вертикальной $U-B$, представляют каждую звезду точкой. Оказалось, что точки не заполняют всей диаграммы,

а также располагаются на ней в виде дискретных последовательностей. Современные данные об этих последовательностях представлены П. Г. Куликовским в «Справочнике любителя астрономии» в табл. 75. Мы изобразили их на рис. 89.

Положение точки на этой диаграмме позволяет судить о том, к какой группе звезд относится исследуемая звезда. Однако на положение точки на диаграмме влияет межзвездное поглощение.

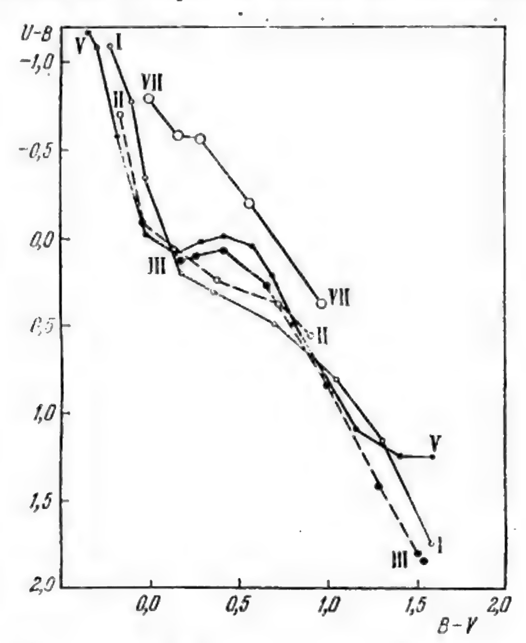


Рис. 89. Диаграмма (U—B, B—V). Отмечены классы светимости звезд.

Дело в том, что межзвездное поглощение неодинаково для различных лучей. Больше поглощаются фиолетовые лучи, меньше красные, еще меньше инфракрасные. Можно теоретически рассчитать «линии» покраснения на этой диаграмме. Это позволяет во многих случаях установить, насколько «краснее» данная звезда, если известен ее спектральный класс. Полное же поглощение связано с величиной покраснения определенным простым соотношением и, определив покраснение, мы можем узнать, насколько свет звезды ослаблен межзвездной средой.

§ 9. Фотометрические характеристики тел Солнечной системы

Основная задача планетной астрономии состоит в выяснении характера тех физических условий, которые господствуют на планетах и их спутниках. При решении этих задач применяются

самые разнообразные методы, начиная от любительских зарисовок поверхности и вплоть до транспортировки на планеты автоматических приборов и посещения их поверхностей космонавтами.

Любителю астрономии приходится ограничиваться зарисовками вида поверхности планеты, иногда применяя при этих наблюдениях светофильтры. Достаточно ценные научные результаты могут быть получены любителем в области фотометрических исследований тел Солнечной системы. Поэтому далее приводятся основные сведения о фотометрических характеристиках небесных тел, рассеивающих солнечное излучение.

Общие понятия. Будем считать, что Луна и планеты имеют форму шара. Проведем на рис. 90 луч зрения, соединяющий земного наблюдателя с центром планеты. Там, где этот луч пересекает поверхность планеты, мы видим *центр ее диска C*. Проведем

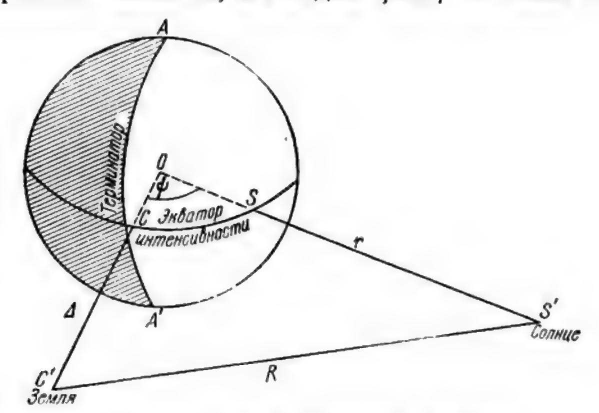


Рис. 90. К объяснению явления фазы.

линию, соединяющую центр планеты с центром Солнца. В точке пересечения этой линии с поверхностью планеты расположен *полюс освещенности S*, или *подсолнечная точка*. Наблюдатель, находящийся в этой точке планеты, видел бы Солнце в зените. Полюс освещенности не совпадает, как правило, с центром *диска*. Возникает явление *фазы*. Линия, разделяющая освещенную и неосвещенную части поверхности планеты, называется *терминатором*. Положение терминатора зависит от фазового угла ψ. Большой круг, соединяющий на поверхности планеты точки C и S, называется *экватором интенсивности*. Фазовый угол ψ измеряется дугой экватора интенсивности, заключенной между точками C и S, выраженной в градусной мере.

Величиной фазы Φ называется отношение длин отрезков TL и BL; последний равен диаметру диска планеты (рис. 91). Величина фазы вычисляется по формуле

$$\Phi = \frac{1}{2}(1 + \cos\psi) = \cos^2\frac{\psi}{2}. \qquad (3.43)$$

Величину фазового угла ψ можно вычислить по формуле

$$\cos\psi = \frac{\Delta^2 + r^2 - R^2}{2r\Delta}, \tag{3.44}$$

в которую входят расстояние планеты от Солнца r, расстояние планеты от Земли Δ и расстояние Земли от Солнца R. Эта формула может быть легко получена из треугольника $OC'S'$ (см. рис. 90), в котором S' — Солнце, O — центр планеты и C' — Земля. Формула неудобна для логарифмических вычислений и может быть заменена другой:

$$\sin\frac{\psi}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{(R+\Delta-r)(R+r-\Delta)}{r\Delta}}. \tag{3.45}$$

Для использования этих формул необходимо знать расстояния.

Немного иначе обстоит дело с вычислением фазового угла Луны. Дело в том, что в астрономических календарях не приводятся расстояния Луны от Солнца. Фазовый угол Луны можно вычислять по формулам

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\sin\gamma}{(\Delta/R) - \cos\gamma}; \quad \cos\gamma = \cos(\lambda_{\odot} - \lambda)\cos\beta, \tag{3.46}$$

где λ — астрономическая (эклиптикальная) долгота центра Луны, $\lambda_{\odot}$ — астрономическая долгота Солнца и β — астрономическая широта центра Луны.

Общее количество света, воспринимаемое земным наблюдателем, — блеск планеты, — зависит от ее расстояния от Солнца r, от площади диска $\pi D^2/4$, от расстояния планеты от Земли Δ и от отражательной способности ее поверхности, характеризуемой величиной Γ. Блеск L выражается формулой

$$L = \Gamma \frac{\pi D^2}{4} \frac{I}{r^2\Delta^2} f(\psi), \tag{3.47}$$

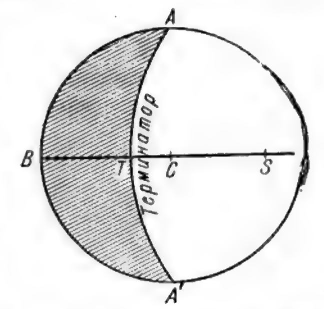


Рис. 91. К определению величины фазы.

в которую входят также «световая солнечная постоянная» I и функция фазы $f(\psi)$. Последняя функция требует дополнительного определения.

Обозначим через $m(\psi)$ ту звездную величину, которую имеет планета при заданном угле фазы ψ; через $m(0)$ обозначим звездную величину, которую имела бы планета при прочих равных условиях (т. е. при тех же r и Δ), если бы угол фазы был равен нулю. Тогда должна быть справедлива легко выводимая формула

$$m(\psi) = m(0) - 2{,}5 \lg f(\psi). \tag{3.48}$$

Обычно ее представляют в упрощенном виде

$$m(\psi) = m(0) + k\psi + l\psi^2, \tag{3.49}$$

где k и l — коэффициенты, определяемые из наблюдений.

Величина Γ показывает, что поверхность планеты рассеивает не весь падающий на нее свет, а часть его поглощает. Отражательная способность планеты характеризуется сферическим альбедо (см. § 1).

Сферическое альбедо некоторых небесных тел приведено в табл. XV.

Таблица XV

Планета или спутник	Альбедо	Планета или спутник	Альбедо	Планета или спутник	Альбедо
Меркурий	0,056	Луна	0,067	Диона	0,55
Венера	0,76	Ио	0,54	Рея	0,48
Земля	0,36	Европа	0,49	Титан	0,12
Марс	0,16	Ганимед	0,29	Тритон	0,21
Юпитер	0,73	Каллисто	0,15	Церера	0,08
Сатурн	0,76	Мимас	0,29	Паллада	0,11
Уран	0,93	Энцелад	0,32	Юнона	0,29
Нептун	0,84	Тефия	0,49	Веста	0,31
Плутон	0,14				

Вполне естественно, что альбедо зависит от длины волны; в табл. XV приведены альбедо в лучах V.

Из этой таблицы видно, что большие планеты, обладающие мощными атмосферами, имеют большое альбедо, а ряд планет, в том числе и астероиды, — малыми. Замечательно и то, что некоторые спутники имеют большие альбедо!

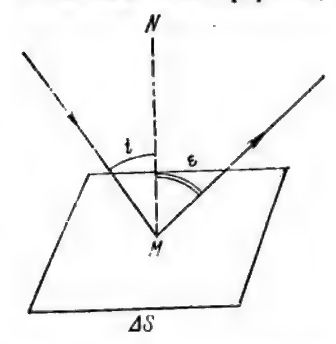


Рис. 92 Закон рассеяния света Ламберта.

Рассмотрим теперь основные законы рассеяния света матовыми поверхностями.

Возьмем на отражающей свет поверхности площадку размерами ΔS (рис. 92). Для простоты будем считать, что площадка имеет прямоугольную форму. В центре площадки восставим перпендикуляр к ее плоскости — нормаль. Пусть на площадку падает параллельный пучок лучей и его направление составляет с направлением нормали угол i. Если бы площадка была перпендикулярна к направлению падающих лучей, то на единицу площади падало бы количество света, равное I; площадка помещена наклонно, и это же количество излучения распределится на бóльшую площадь, которая больше поперечного сечения пучка в $\sec i$ раз. Поэтому освещенность площадки будет равна не I, а $I \cos i$ (см. § 1). Допустим, что площадка рассеивает излучение во все стороны равномерно. Тогда ее яркость в направлении, составляющем угол

ε с направлением нормали, пропорциональна $\cos \varepsilon$ (см. § 1). Если к тому же мы учтем, что часть света площадкой поглощена, то нам придется ввести коэффициент отражательной способности C (меньший единицы) и мы получим формулу

$$Q = CI \cos i \cos \varepsilon \, \Delta S, \tag{3.50}$$

которая выражает *закон рассеяния света Ламберта*. При этом приходится считать, что площадка гладкая и что свет в глубь поверхности не проникает, рассеиваясь от поверхностных слоев.

Более точная теория рассеяния света очень сложна и мы ограничимся здесь только некоторыми общими замечаниями. Во-первых, свет рассеивается в разные стороны неравномерно. Закон рассеяния света описывается *индикатрисой рассеяния*. Допустим, что на какую-то частицу падает пучок параллельных лучей в направлении AB. Частица, находящаяся в точке B, рассеивает свет в разные стороны. Если из точки B проведем пучок линий по разным направлениям и на каждой из линий отложим отрезок, пропорциональный количеству рассеянного в данном направлении света, то получится некая поверхность, которая и будет индикатрисой. На рис. 93 изображена индикатриса рассеяния света каплей воды.

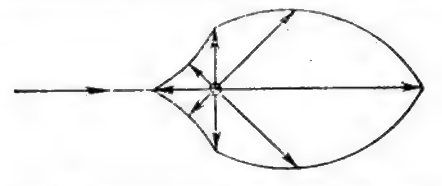


Рис. 93. Индикатриса рассеяния света каплей воды.

Во-вторых, излучение проникает в более глубокие слои, но, конечно, ослабляется за счет поглощения в верхних слоях. Рассеяние производится не только поверхностью, но и более глубокими слоями. Учет этого рассеяния в принципе возможен, но приводит к очень громоздким формулам.

В-третьих, что особенно важно при изучении планет, сильное влияние оказывает «шероховатость» поверхностей, так сказать, «микрорельеф». Например, хорошо известно, что никаких бликов от солнечного излучения на поверхности Луны не возникает и яркость возрастает в полнолуние по всему лунному диску, что свидетельствует о крайней «шероховатости» лунного грунта, что было доказано прямыми экспериментами на поверхности Луны!

Для планет было введено понятие о *факторе гладкости*. Реальный закон рассеяния света земными образцами привел к формуле для «планетного» закона рассеяния света, согласно которому яркость участка планеты имеет вид

$$B = B_0 \cos^q i. \tag{3.51}$$

Показатель q — фактор гладкости поверхности планеты. Величина q больше единицы для полированных поверхностей. Она меньше единицы для горных пород, гравия, песка и изрытой по-

верхности. При $q = 1$ формула принимает вид закона Ламберта. Исследования показали, что у материков Марса фактор гладкости 1,16, у морей 1,08. Фактор гладкости у Луны равен нулю.

Фотометрические свойства Луны. Луна обладает совершенно исключительными фотометрическими свойствами и потому мы остановимся на их описании несколько подробнее.

Общий блеск Луны изменяется в зависимости от фазового угла таким образом, что при фазе, равной нулю, т. е. в полнолуние, кривая блеска имеет резкий пик. Это можно видеть из табл. XVI, где приведены результаты определений, выполненных

Таблица XVI

ψ	Прибывающая Луна		Убывающая Луна		ψ	Прибывающая Луна		Убывающая Луна	
	L	Δm	L	Δm		L	Δm	L	Δm
0°	1000	0,00	1000	0,00	80°	120	2,30	111	2,39
10	787	0,26	759	0,30	90	83	2,71	78	2,77
20	603	0,55	586	0,58	100	56	3,13	58	3,09
30	466	0,83	425	0,86	110	38	3,56	41	3,48
40	365	1,12	350	1,14	120	25	4,01	26	3,91
50	273	1,40	273	1,41	130	15	4,55	16	4,50
60	210	1,69	212	1,69	140	—	—	9	5,09
70	161	1,98	157	2,02	150	—	—	5	5,86

Ружье. В ней приведены фазовые углы, блеск L, выраженный в условных единицах (для него принято значение, равное 1000 в момент полнолуния), и разности звездных величин Δm. Максимальный блеск Луны, выраженный в фотовизуальной системе, эквивалентен блеску звезды — 12,67 зв. вел.

Из этой таблицы также следует, что кривая блеска Луны не вполне симметрична относительно полнолуния.

Кривую блеска можно формально представить эмпирической, трудно объяснимой теоретически, формулой

$$\Delta m = 3{,}05\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right) - 1{,}02\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^2 + 1{,}05\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^3.$$

Таблица XVII

λ, нм	A_c	λ, нм	A_c
430	0,041	560	0,074
510	0,047	730	0,090

Сферическое альбедо Луны зависит от длины волны, что можно видеть из табл. XVII.

Из этой таблицы видно, что поверхность Луны рассеивает менее 10% падающего на нее света, причем рассеянный свет должен иметь красноватый оттенок.

Нормальные визуальные альбедо отдельных деталей лунной поверхности отличаются в три раза. Наиболее ярким является кратер Аристарх. Его нормальное альбедо 0,176. Самая темная

точка лунного диска помещается внутри Океана Бурь; ее альбедо равно 0,051.

Все детали лунного диска, независимо от их селенографических долгот и широт, достигают максимальной яркости одновременно, в полнолуние. В этом, пожалуй, и состоит самое основное свойство лунной поверхности. Кривые изменения яркости любой площадки лунного диска в зависимости от фазового угла сходны между собой тем, что максимум достигается при фазовом угле, равном нулю, хотя в деталях они и отличаются друг от друга. Такое явление возникает в результате крайней шероховатости, или пористости, лунного грунта.

Рассеянный поверхностью Луны свет частично поляризован, причем поляризация зависит от угла фазы.

Фотометрические свойства планет, спутников и астероидов. Каждое из этих небесных тел характеризуется блеском, который подвержен значительным изменениям по двум причинам. Во-первых, при движении этих тел по орбитам существенно изменяются их расстояния от наблюдателя и несколько менее существенно — расстояние от Солнца. Во-вторых, они подобно Луне имеют фазы, что также отражается на величине блеска. Есть еще одна причина периодических колебаний блеска некоторых небесных тел — осевое вращение.

Мы видели, что блеск планеты выражается формулой (3.47):

$$L = \Gamma \frac{\pi D^2}{4} \frac{I}{r^2 \Delta^2} f(\psi).$$

Обозначим через $L_{абс}$ тот блеск, который имела бы планета, находясь на расстоянии r от Солнца, равном одной астрономической единице, и на таком же расстоянии Δ от Земли; назовем этот блеск абсолютным. Тогда

$$L_{абс} = \Gamma \frac{\pi D^2}{4} I f(\psi).$$

Поделив эти два выражения одно на другое, получим основное соотношение, в которое введена «абсолютная звездная величина» планеты, обозначенная через g:

$$\frac{L}{L_{абс}} = \frac{1}{r^2 \Delta^2} = 2{,}512^{g-m}.$$

Логарифмируя и произведя преобразования, получим окончательное выражение для видимой звездной величины планеты:

$$m = g + 5 \lg \Delta + 5 \lg r. \qquad (3.52)$$

Допустим теперь, что в нашем распоряжении находится более или менее длинный ряд наблюдений видимой звездной величины планеты. Так как расстояния r и Δ хорошо известны, мы можем исключить при помощи формулы (3.52) расстояние и тогда по разностям между видимыми и вычисленными звездными величинами будем судить об изменении блеска планеты в зависимости от угла фазы.

Таблица XVIII

Название планеты или спутника	a	b	c	Название планеты или спутника	a	b	c
Меркурий	3,80	—2,73	+2,00	Ио	4,6	—10	
Венера	0,09	+2,39	—0,65	Европа	3,12	—12,5	
Земля	1,30	+0,19	+0,48	Ганимед	32,6	—6,6	
Марс	3,05	—1,02	+1,05	Каллисто	7,8	?	

Фаза заметно изменяется у близкиле планет и х к Зему спутников даже очень далеких планет. В табл. XVIII приведены эмпирические коэффициенты функций фазы для некоторых планет и спутников. Сама функция фазы принята такой:

$$\Delta m(\psi) = a\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right) + b\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^2 + c\left(\frac{\psi}{100^\circ}\right)^3. \qquad (3.53)$$

У Каллисто фазовые изменения носят исключительно интересный характер. Очевидно, что яркость распределена по поверхности спутника с большими неправильностями.

Функция фазы Земли определена на основании исследования яркости пепельного света Луны.

Исследование распределения яркости по диску планет — проблема очень трудная и вряд ли доступная для исследования любителями астрономии. Поэтому мы отсылаем читателя к специальным руководствам и монографиям.

Остановимся в заключение на фотометрических свойствах астероидов. Каждый из них характеризуется абсолютной звездной величиной g. Отклонения от формулы (3.52) позволяют изучить их фазовые функции, так же как у больших планет. Различаются астероиды и по своим показателям цвета. Однако наибольший интерес для любителя представляет исследование изменения их блеска, возникающего в результате осевого вращения. В настоящее время известно, что ряд астероидов изменяет блеск, но их амплитуды сравнительно невелики, так что их надо наблюдать фотоэлектрическим способом. Однако два астероида, Эрос и Географ, — особо выделяются из всей массы малых планет исключительно большими амплитудами колебаний блеска и короткими периодами вращения. Кстати, оба астероида движутся вокруг Солнца по вытянутым эллиптическим орбитам, при этом их расстояния, как от Солнца, так и от Земли, существенно изменяются. Поэтому у них наблюдаются так называемые *великие противостояния*, когда они могут подходить к Земле на сравнительно небольшое расстояние. У Эроса это расстояние составляет чуть более 20 млн. км. При этом его блеск становится сравнимым с блеском звезд 7-й звездной величины, так что Эрос можно в это время наблюдать даже в бинокль. Не каждое противостояние столь благоприятно для наблюдений. Великие же противостояния случаются не часто. Последнее из них произошло в 1974—1975 гг., когда

астероид прошел по небесной сфере очень длинный путь (рис. 94), что чрезвычайно важно для его наблюдений. Эрос вращается вокруг оси с периодом, равным 5 ч 16 мин. Он имеет форму вытянутого бруска или гантели, и его ось вращения почти перпендикулярна к направлению вытянутости. В зависимости от того,

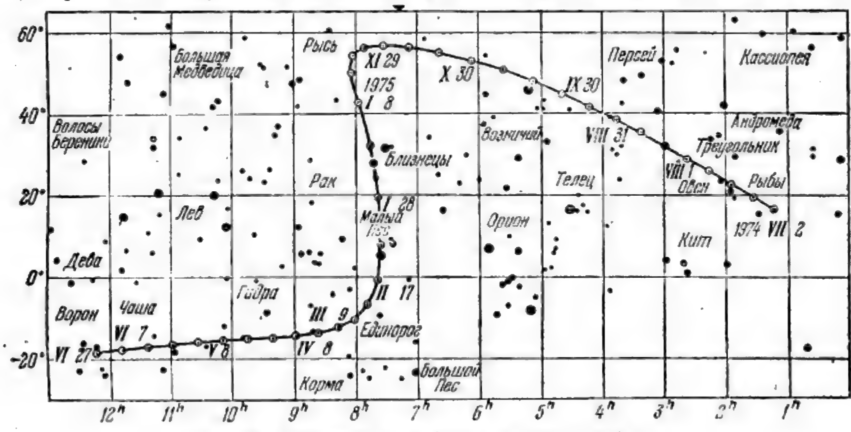


Рис. 94. Видимый путь Эроса в 1974—1975 гг.

какой угол составляет в данный момент луч зрения (линия, соединяющая центр астероида и земного наблюдателя) с осью вращения, будет изменяться освещенная лучами Солнца поверхность «диска» астероида, а следовательно, и его блеск. Если этот угол равен 90°, то амплитуда изменений блеска становится максимальной. У Эроса она достигает 1,5 звездной величины! Это произошло в начале января 1975 г. когда астероид проектировался на фоне созвездия Рыси. Очевидно также, что если направление луча зрения в данный момент совпадает с направлением оси вращения, то колебаний блеска не будет. Таким образом, амплитуда оказывается зависящей от указанного угла, который существенно изменяется во время великого противостояния при движении астероида по его растянутой траектории. Типичная кривая изменения блеска Эроса изображена на рис. 95. Систематические наблюдения блеска Эроса (так же, как и астероида Географ) дают возможность определить направление его оси вращения.

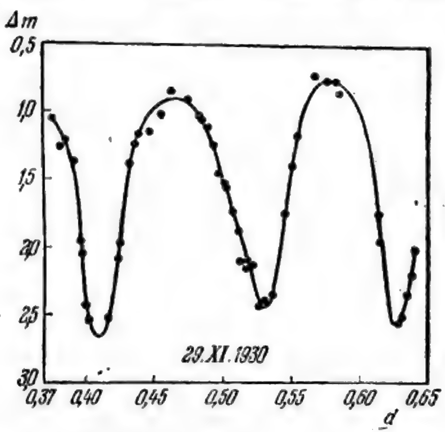


Рис. 95. Кривая изменения блеска Эроса.

Отметим еще один интересный способ наблюдений астероидов, вполне доступный любителю. В начале 1975 г. ожидалось покрытие телом Эроса довольно яркой звезды $\varkappa$ Близнецов. Естественно, что «тень» Эроса прочерчивает на поверхности Земли очень узкую полосу. Эта полоса, по расчетам, должна была пройти через восточную часть США; группа любителей астрономии организовала коллективные наблюдения. Некоторым из ее участников повезло: они видели, как померкла на несколько мгновений $\varkappa$ Близнецов, и это дало возможность оценить поперечник Эроса, который оказался близким к 30 км.

§ 10. Понятие о методах радиоастрономии

Методами радиоастрономии исследуется космическое излучение с длинами волн от нескольких десятых долей миллиметра (субмиллиметровый диапазон) до нескольких сотен метров. Коротковолновая сторона смыкается с инфракрасным диапазоном, а длинноволновая ограничивается сильным поглощением низкочастотных радиоволн в межзвездной плазме. Весь этот участок электромагнитного спектра содержит более двадцати октав (одной октаве соответствует изменение длины волны, а также частоты в 2 раза). Таким образом, радиодиапазон, используемый в астрономии, во много раз превышает оптический, на который приходится менее одной октавы! Сантиметровый, дециметровый и метровый участки спектра беспрепятственно проходят через земную атмосферу. Волны короче 1,25 см в той или иной степени поглощаются молекулами кислорода и водяных паров, так что наблюдениям с Земли доступны лишь некоторые узкие участки спектра, да и то в условиях пониженной влажности. Радиоволны длиннее 15—30 м отражаются земной атмосферой и доступны только внеатмосферным наблюдениям.

Источниками космического радиоизлучения являются практически все астрономические объекты: звезды, галактики, межзвездная среда, атмосферы планет и т. д. Во многих случаях это излучение является тепловым, т. е. возникает в результате столкновений электронов с протонами плазмы, происходящих при тепловых движениях. Типичными примерами источников теплового излучения могут служить Солнце, ионизованный водород межзвездной среды, отдельные газовые туманности.

Важной разновидностью теплового излучения является монохроматическая эмиссия нейтрального водорода на частоте 1420,4 МГц (21 см). Оно возникает в результате взаимодействия электронов и протонов в атоме. Даже при самых низких температурах (вблизи абсолютного нуля) у большинства атомов газообразного водорода электрон обладает энергией, превышающей энергию электронов у остальной части атомов на 6 миллионных долей электрон-вольта. С этим ничтожным избытком энергии водородный атом в вакууме способен «прожить» в среднем 11 млн. лет.

Может случиться, что за это время вращательный момент количества движения электрона (*спин*) изменит свое направление на противоположное по отношению к магнитному моменту протона. Если бы электрон и протон можно было уподобить вращающимся волчкам, то это означало бы, что первоначально они вращались в одну сторону, а в конце электрон переворачивается и они вращаются в разные стороны. В каждом случае при этом происходит излучение кванта с энергией $h\nu = 6\cdot 10^{-6}$ эВ, т. е. в линии $\lambda = 21$ см.

В некоторых случаях мощность наблюдаемого радиоизлучения оказывается значительно больше возможного верхнего предела теплового радиоизлучения при данной температуре. Так, например, во время больших всплесков мощность радиоизлучения Солнца в тысячи раз превосходит «спокойное» излучение солнечной короны. В подобных случаях радиоизлучение имеет совсем иную, так называемую нетепловую природу. Наиболее мощными источниками нетеплового радиоизлучения во Вселенной являются квазары, галактики (особенно радиогалактики), а в нашей звездной системе туманности — остатки сверхновых звезд, пульсары и быстрые электроны межзвездной среды.

Нетепловое радиоизлучение может возникать в результате одного из нескольких специальных процессов, из которых мы упомянем наиболее часто встречающиеся:

1. Синхротронное излучение (т. е. излучение типа, впервые наблюдавшегося в синхротроне)— излучающие электроны, движение которых происходит под действием магнитного поля по спиральной траектории, навивающейся на магнитные силовые линии, обладают очень большими энергиями, так что приходится учитывать эффекты, следующие из специальной теории относительности. Такие релятивистские электроны излучают только в узком конусе в направлении своего движения. Если в излучающем объекте имеется преимущественное направление магнитного поля, то это излучение оказывается поляризованным.

2. Электромагнитное излучение, вызванное одновременными одинаковыми колебаниями многих заряженных частиц (в первую очередь электронов) в плазме (плазменные волны). Как известно, плазмой называется газ, атомы которого ионизованы, а «оторванные» электроны движутся наравне с ними как свободные частицы.

3. Электромагнитное излучение, вызванное одновременными одинаковыми колебаниями электронов во многих атомах и молекулах. Это излучение создает очень мощное монохроматическое излучение и подобно излучению лазера.

Для приема и измерения мощности космического радиоизлучения служит специальный инструмент — *радиотелескоп*. Он состоит из антенны, собирающей излучение с определенной площади, характеризуемой *эффективной площадью антенны* A, и приемника, на вход которого поступает излучение, собранное антенной. В радиоастрономии применяются антенны самых раз-

личных типов. Основным и простейшим видом антенн является параболическое зеркало (рис. 96), в фокусе которого собирается энергия далекого источника (подобно оптическому телескопу).



Рис. 96. Параболическая антенна радиотелескопа РТ-22 (диаметр 22 м) Горьковского института радиофизики.

Эффективная площадь антенны A зависит от направления, из которого приходит регистрируемое излучение. Полярная диаграмма, изображающая зависимость $G(\varphi, \theta) = \frac{4\pi}{\lambda^2} A(\theta, \varphi)$, где θ и φ — углы, характеризующие направление на источник, а λ — длина волны, называется *диаграммой направленности*. В центре диаграммы ($\theta = \varphi = 0$) эффективная площадь антенны максимальна и равна A_0. Эта величина A_0, выраженная в квадратных метрах, является важнейшей характеристикой радиотелескопа. Для параболической антенны с диаметром D $A_0 = (\pi/8) \cdot D^2$.

На рисунке 97 изображено сечение типичной диаграммы направленности некоторой плоскостью, проходящей через направление, в котором $A(\theta, \varphi)$ максимальна и равна A_0. Как видно, она состоит из главного и боковых лепестков. Направленность антенны обычно характеризуют полушириной главного лепестка,

т. е. углом δ на рис. 97 между точками диаграммы, где $A = {}^1/_2 A_0$. Для антенны в виде параболического зеркала диаметром D диаграмма симметрична относительно направления A_0 и все сечения типа, изображенного на рис. 97, одинаковы. Аналогично разрешающей способности оптического объекта полуширина составляет $\lambda \approx \lambda/D$.

Крупнейшей антенной такого типа является неподвижная 300-метровая чаша радиотелескопа в Аресибо (Пуэрто-Рико), смонтированная в кратере потухшего вулкана. На волне 70 см она дает разрешение 10′. Для получения очень узких диаграмм направленности используются системы нескольких антенн, разнесенных на большие расстояния (*радиоинтерферометры*).

Радиоинтерферометры, состоящие из двух антенн, удаленных на расстояние d, имеют диаграммы направленности в виде плоских лепестков, ширина которых примерно такая же, как у целого параболоида диаметра d, а длина определяется разрешением одной антенны (*«ножевая» диаграмма*).

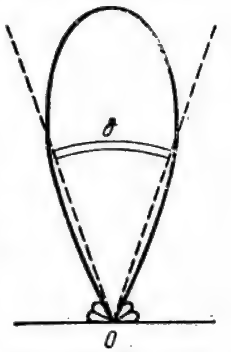


Рис. 97. Диаграмма направленности антенны.

В последнее время осуществляются интерферометры с очень большими базами, вплоть до диаметра Земли (*глобальные интерферометры*). Для этого с помощью очень точных часов синхронизуются сигналы, принимаемые двумя большими радиотелескопами, нередко принадлежащими различным государствам. Такая методика позволяет достигнуть недоступного наземным оптическим телескопам разрешения до 0″,001 и выше!

С 1976 г. в Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (станица Зеленчукская) начал работу уникальный радиотелескоп Академии наук с диаметром кольца антенн 600 метров (РАТАН-600). Кольцо состоит из 895 отдельных прямоугольных плоских металлических зеркал с размерами $2 \times 7{,}5$ м^2, отражающих принимаемое излучение либо непосредственно, либо через дополнительный отражатель в одну точку, где расположен облучатель. Сигналы, отраженные всеми работающими зеркалами, приводятся к одной фазе (такая антенна называется синфазной). Изменяя наклон зеркал, антенну можно подогнать под то или иное сечение некоторого параболоида, параметры которого меняются в зависимости от доли использованной части кольца и положения облучателя. Поэтому РАТАН-600 является антенной переменного профиля. Область вблизи зенита можно наблюдать, используя все кольцо. Тогда во всех направлениях диаграмма получается узкой («карандашная») как у параболоида с диаметром 600 метров. При использовании части кольца получается соответствующая «ножевая» диаграмма, позволяющая наблюдать прохождение исследуемого источника через нее.

Главными параметрами, измеряемыми радиотелескопом, являются F_ν — спектральная плотность потока энергии от источника (измеряемая полной мощностью от источника в ваттах, падающей на 1 кв. м поверхности в точке наблюдения при полосе приемника 1 Гц), и I_ν — интенсивность, характеризующая распределение радиояркости по источнику (размерность Вт/м^2·Гц·ср, т. е. поток излучения, приходящий из единицы телесного угла).

Поглощенная антенной мощность $P_{погл}$ определяется как

$$P_{погл} = F_\nu A_0 \Delta\nu,$$

где $\Delta\nu$ — интервал принимаемых частот; при этом предполагается, что телесный угол, под которым виден источник Ω, меньше телесного угла главного лепестка антенны $\Omega_a = \lambda^2/A_0$.

Если угловые размеры источника Ω больше ширины главного лепестка антенны Ω_a, то

$$P_{погл} = I_\nu \Omega_a A_0 \, \Delta\nu = I_\nu \lambda^2 \, \Delta\nu.$$

Чувствительность радиотелескопа определяется минимальным значением величины F_ν, которое может быть зарегистрировано. Ее можно оценить по формуле

$$\Delta F_\nu \geqslant \frac{2kT}{A_0 \sqrt{\Delta\nu\tau}},$$

в которой τ — постоянная времени регистрирующего прибора, k — постоянная Больцмана, T — «температура шумов», характеризующая шумы приемника, мощность которых равна

$$P_0 = kT \, \Delta\nu.$$

При $T = 900$ К $\Delta\nu = 1$ МГц и $\tau = 100$ с радиотелескоп с антенной в виде параболоида диаметром 20 м ($A_0 = 150$ м^2) может зарегистрировать поток радиоизлучения

$$2 \cdot 10^{-26} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{Гц}.$$

Эта чувствительность достигается на пределе возможностей обычных приемников супергетеродинного типа. Однако приемники прямого усиления с лампами бегущей волны, а также молекулярные и параметрические усилители позволяют снизить ΔF_ν.

Наряду с непосредственной задачей радиоастрономии — измерением мощности космического радиоизлучения — важную роль играет применение методов *радиолокации*. В начале развития радиоастрономии оно ограничивалось наблюдением сигналов, отраженных от метеоров. Удалось получить отраженные сигналы от Луны, Венеры, Меркурия, Марса, Юпитера и даже Солнца. Анализ отраженных сигналов позволяет уточнить расстояния, скорость вращения планет вокруг оси и некоторые свойства поверхности, как, например, в случае Луны, а также исследовать движение и физические параметры вещества на Солнце.

Глава IV

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ И РАБОТА С НИМИ

§ 1. Некоторые сведения из геометрической оптики

Рассмотрим двояковыпуклую линзу, обе поверхности которой являются сферическими. Прямая, на которой лежат центры кривизны этих сфер, являющаяся осью симметрии линзы, называется *главной оптической осью*. Перпендикулярная ей плоскость симметрии линзы делит пространство на две части. Та из них, в которой расположен объект, называется *пространством предметов*,

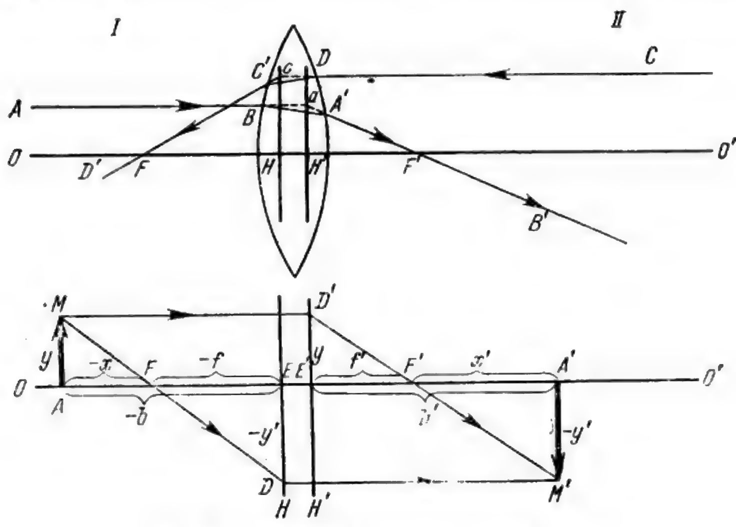


Рис. 98. Ход лучей в двояковыпуклой линзе.

другая, в которой расположено изображение, — *пространством изображений*. В первой все отрезки считаются отрицательными, во второй — положительными.

Построим ход лучей через линзу. Если направить луч AB (рис. 98) из пространства предметов I параллельно главной оптической оси OO', то после преломления он пойдет по направлению $A'B'$ в пространстве изображений II и пересечет ось OO' в точке F'. Здесь же соберутся (если пренебречь сферической абер-

рацией) и другие лучи, входящие в параллельный пучок, заданный направлением AB. Точка F' называется *задним главным фокусом* системы. Направим теперь луч CD, параллельный OO', из пространства изображений II в пространство предметов I; по выходе из линзы он пойдет по направлению $C'D'$ и пересечет OO' в точке F. Сюда же соберутся и все лучи, параллельные OO'. Эта точка F называется *передним главным фокусом.*

Продолжим лучи AB и $A'B'$ до их пересечения в точке a. Проведем через точку a плоскость H', перпендикулярную к главной оптической оси. Эта плоскость называется *задней главной плоскостью.* Аналогичным построением, продолжив лучи CD и $C'D'$ до пересечения в точке c, получим плоскость H — *переднюю главную плоскость.* Таким образом, можно каждую линзу заменить двумя ее главными плоскостями.

Построим, пользуясь главными плоскостями, изображение предмета, создаваемое двояковыпуклой линзой. Пусть OO' — главная оптическая ось, H и H' — главные плоскости и в точке A расположен предмет AM так, что AM параллельно H и H'. Из точки M направляем два луча: MD', параллельный OO', и MD, проходящий через передний главный фокус. Дальнейший ход лучей ясен из рис. 98. В плоскости $A'M'$ образуется действительное перевернутое изображение предмета.

Выведем формулы, связывающие величины отрезков; при этом надо обратить внимание на знаки отрезков, показанные на рис. 98.

Из подобия треугольников AMF, FED, $D'E'F'$ и $F'A'M'$ следует:

$$-\frac{y'}{y}=\frac{f}{x}=\frac{x'}{f'}$$

так что

$$x\cdot x'=f\cdot f'.$$

Далее, поскольку $x=b-f$ и $x'=b'-f'$, имеем

$$\frac{f'}{b'}+\frac{f}{b}=1.$$

Если показатели преломления сред в пространстве предметов и изображений одинаковы, то $f'=-f$ и

$$\frac{1}{b'}-\frac{1}{b}=\frac{1}{f'} \quad \text{или} \quad \frac{1}{b'}+\frac{1}{|b|}=\frac{1}{f'}. \tag{4.1}$$

Выведенные соотношения справедливы не только для простой линзы, но и для любой центрированной оптической системы, оптические оси всех элементов которой совпадают. Примером такой системы могут служить, например, две линзы с фокусными расстояниями f_1 и f_2, удаленные друг от друга на расстояние d ($d<f_1f_2$). Ее эквивалентный фокус F определяется формулой

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{d}{f_1f_2}. \tag{4.2}$$

Фокусное расстояние отдельной линзы зависит от показателя преломления n стекла, из которого она изготовлена, и радиусов кривизны обеих ее поверхностей R_1 и R_2:

$$f' = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)}, \quad f = -f'. \tag{4.3}$$

§ 2. Рефрактор

Телескоп, основанный на применении линзовой оптики, называется *рефрактором*. Главная его часть — *объектив* — составная двояковыпуклая линза, укрепленная в передней, обращенной к наблюдаемому объекту части трубы. Объектив изготовляется из хорошего оптического стекла, по возможности лишенного неоднородностей. При расчете объектива стремятся сделать поверхности линз сферическими. Объектив создает изображение бесконечно удаленной точки, расположенной на главной оптической оси, в главном фокусе F'. Расстояние от объектива до главного фокуса называется *главным фокусным расстоянием*. Изображение бесконечно удаленного предмета образуется в плоскости, перпендикулярной к главной оптической оси. Эта плоскость проходит через точку F' и называется *главной фокальной плоскостью*. Если в главной фокальной плоскости поместить фотографическую пластинку, то может быть получена фотография небесного объекта. К фотографическим объективам предъявляются особые требования (например, хорошее поле), если хотят получить снимок большой области звездного неба.

Изображение, созданное объективом, рассматривается при помощи *окуляра*, также состоящего из комбинации линз. Окуляры можно менять, в результате чего при одном и том же объективе меняется увеличение телескопа (см. § 4).

§ 3. Зрачки входа и выхода

Объектив состоит из линз, имеющих ограниченные поперечные размеры. Поэтому из пучка лучей, идущих от небесного светила, объектив вырезает некоторую часть. То отверстие, которое фактически ограничивает эту часть, называется *зрачком входа*. Толщина линз объектива рефрактора сравнительно мала, так что можно принимать, что входной зрачок и по положению и по размерам совпадает с оправой объектива.

У фотографических же объективов это зачастую бывает не так. Чтобы найти световой пучок, фактически попадающий в объектив в этом случае, надо построить изображение апертурной диафрагмы (в фотографических объективах она обычно расположена между линзами) всей предшествующей ей частью оптической системы.

Пучки лучей, поступающие в объектив наклонно к главной оптической оси, частично закрываются диафрагмой, что приводит

к ослаблению яркости изображения. Это называется *виньетированием*. Оно приводит к появлению фотометрической ошибки поля, что сказывается на фотографических снимках больших областей звездного неба, полученных широкоугольными объективами. Таким образом, каждый объектив должен быть исследован; должна быть определена ошибка поля в зависимости от расстояния от оптического центра снимка.

Зрачком выхода называется изображение входного зрачка, создаваемое всей системой. Весь свет, вошедший в телескоп через его входной зрачок, выходит из него через зрачок выхода (если пренебречь поглощением в оптике).

Рассматривая небесное светило в телескоп, мы устанавливаем окуляр в такое положение, при котором из него выходит параллельный пучок лучей. Поэтому роль телескопа сводится к превращению параллельного пучка лучей в параллельный же, но более узкий. Это имеет место в том случае, если задний главный фокус объектива совмещен с передним главным фокусом окуляра, если взять положительный окуляр (см. § 8). На рис. 99 показан ход

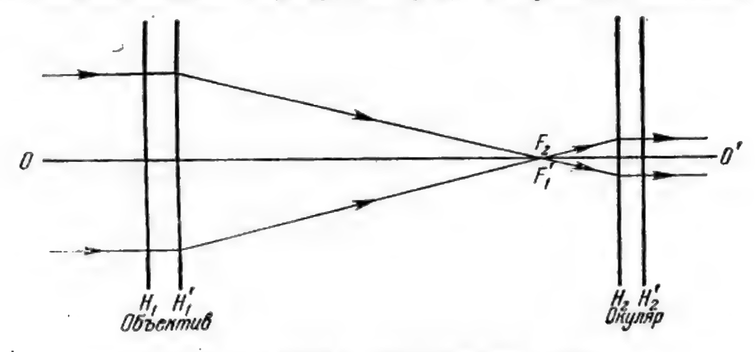


Рис. 99. Ход лучей в телескопической системе.

лучей в такой телескопической системе, где объектив заменен его главными плоскостями H_1 и H'_1, а окуляр — главными плоскостями H_2 и H'_2. Точка $F'_1 = F_2$ — точка совмещения заднего главного фокуса объектива и переднего главного фокуса окуляра. Из рисунка видно, что попадающий в объектив широкий пучок лучей превращается в узкий, выходящий из окуляра в глаз наблюдателя.

Чтобы рассчитать положение выходного зрачка и его диаметр, надо построить его изображение, создаваемое окуляром. На рис. 100 принято, что входной зрачок совпадает с оправой объектива; его диаметр обозначим через D. Окуляр заменен его главными плоскостями. Проводим два луча — один параллельно главной оптической оси, а другой через передний фокус окуляра. В результате мы получаем в пространстве изображений окуляра зрачок выхода, имеющий диаметр d.

Из подобия треугольников, имеющих общую вершину в точке F'_1, находим

$$\frac{d}{D} = \frac{f_2}{f'_1}, \qquad (4.4)$$

где f'_1 — главное фокусное расстояние объектива, а f_2 — переднее главное фокусное расстояние окуляра. По этой формуле мы вычисляем диаметр выходного зрачка d.

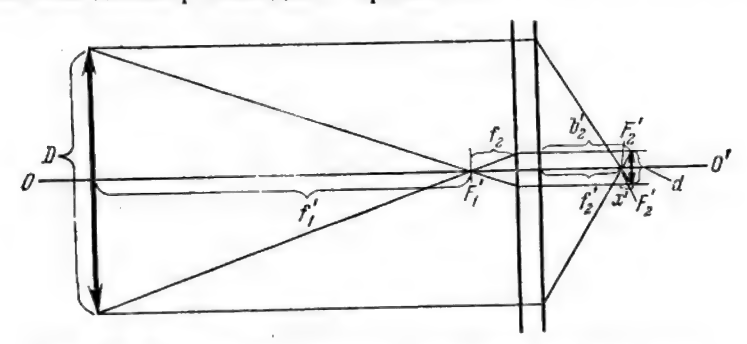


Рис. 100. К определению размеров и положения выходного зрачка.

Из подобия треугольников, имеющих общую вершину в точке F'_2, имеем соотношение

$$\frac{x'}{f'_2} = \frac{d}{D},$$

где f'_2 — заднее главное фокусное расстояние окуляра, а x' — расстояние от заднего главного фокуса окуляра до изображения выходного зрачка. Использовав формулу (4.4), получим

$$x' = f'_2 \frac{d}{D} = \frac{f'_2 f_2}{f'_1}. \qquad (4.5)$$

Следовательно, расстояние от задней главной плоскости окуляра до изображения выходного зрачка равно

$$b'_2 = f'_2 + x' = f'_2 \left(1 + \frac{f_2}{f'_1}\right). \qquad (4.6)$$

Как найти положение выходного зрачка опытным путем? Для этого наводим телескоп, предварительно отфокусировав окуляр на наибольшую резкость изображений, на яркий фон дневного неба и помещаем за окуляром полупрозрачный экран (кусок кальки). Перемещая кальку, т. е. придвигая к ее окуляру и отодвигая от него, мы найдем такое ее положение, при котором освещенный кружок будет наиболее резким, без размытых краев, и при этом наименьшего диаметра. Это и будет выходной зрачок.

Из формулы (4.4) видно, что для каждого окуляра характерна своя величина диаметра выходного зрачка. Если он окажется большим, чем диаметр зрачка «среднего» человеческого глаза, то не весь собранный объективом свет попадет в глаз наблюдателя. Следовательно, выбор окуляра со слишком большим f_2 приведет к искусственному диафрагмированию объектива и мы ухудшим условия наблюдений, так как не сможем видеть слабые объекты. Поэтому при выборе окуляра мы должны руководствоваться формулой (4.4) и подбирать такое f_2, чтобы выходной зрачок имел диаметр меньший, чем диаметр зрачка наблюдателя. Мы увидим далее, что применять окуляры, дающие очень малые увеличения, невыгодно.

Чтобы можно было совместить зрачок выхода со зрачком глаза наблюдателя, на каждом окуляре установлено «окулярное окно» — диафрагма, отстоящая от линз на такое расстояние, чтобы глаз наблюдателя совмещался с выходным зрачком.

§ 4. Масштаб изображения и увеличение телескопа

Мы уже говорили, что при помощи объектива (без применения окуляра) можно получить фокальный снимок. Изображение точки, лежащей на главной оптической оси, попадет в центр снимка. Изображения остальных точек расположатся на побочных оптических осях.

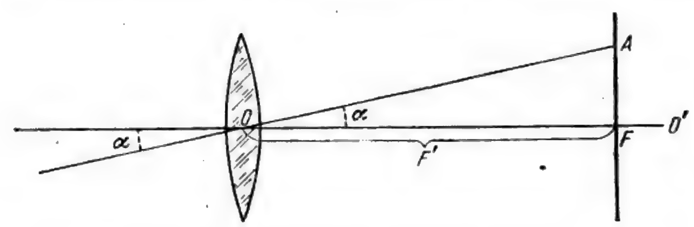


Рис. 101. Определение масштаба снимка.

Определим расстояние на снимке двух объектов, которые удалены на небесной сфере друг от друга на угол, равный α. Решая треугольник OAF (рис. 101), находим $AF = F' \operatorname{tg} \alpha$, или, заменив тангенс малого угла дугой, выраженной в радианной мере, а затем учтя, что один радиан равен 57°,3, получим

$$AF = F' \cdot \alpha = F' \frac{\alpha^\circ}{57^\circ{,}3}. \qquad (4.7)$$

Это соотношение позволяет оценить масштаб снимка. Итак, для того, чтобы получить линейное расстояние на снимке между изображениями двух точек, удаленных на угол α, надо умножить фокусное расстояние объектива на величину угла, выраженную в градусах, и разделить произведение на 57°, 3.

Теперь рассмотрим вопрос об увеличении телескопической системы, в которую входят объектив и окуляр. Построим изображе-

ние бесконечно удаленного предмета (рис. 102). Оно находится в главной фокальной плоскости и обозначено буквами AB. Пусть угол между лучами OA и OB равен α.

Пройдя через точку A, пучок лучей становится расходящимся, но так как точка A находится в передней фокальной плоскости окуляра, пучок выходит из окуляра параллельным. Выберем для определения направления один из лучей этого пучка, параллельный оси OO'. На рис. 102 мы заменили окуляр его главными плоскостями. Луч AC преломится и пройдет через задний главный

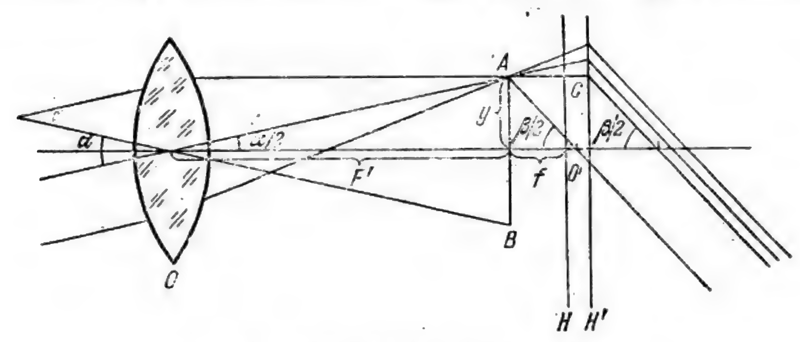


Рис. 102. К понятию об увеличении телескопа.

фокус окуляра. Остальные лучи пойдут по параллельным направлениям, под углом $\beta/2$ к оси OO'. Соединим точки A и O'; этот луч AO' параллелен тому направлению, по которому вышел из точки A и преломлен окуляром рассмотренный выше луч.

Нетрудно видеть, что

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} = \frac{y}{F'} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{y}{f}.$$

Заменяя тангенсы углами и определяя увеличение телескопической системы как отношение β к α, находим

$$w = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{F'}{f}. \tag{4.8}$$

Так как $F' > f$, то величина w больше единицы и угол β больше угла α. Таким образом, назначение окуляра состоит в увеличении угловых размеров светил, что мы и воспринимаем как увеличение изображений.

Как видно из формулы (4.8), чтобы определить увеличение, достаточно разделить величину главного фокусного расстояния объектива на значение главного фокусного расстояния окуляра.

Кроме того, из формулы (4.4) следует, что увеличение также равно отношению диаметров зрачков входа и выхода:

$$w = \frac{D}{d}.$$

§ 5. Объективы

Одиночная линза, как бы она ни была хорошо изготовлена, не может быть использована в качестве объектива вследствие действия хроматической аберрации. Линза преломляет лучи различных длин волн по-разному, вследствие чего главное фокусное расстояние зависит от длины волны. Рассматривая изображение звезды, мы видим его окруженным радужным ореолом.

Для ослабления хроматической аберрации объектив изготовляется из двух или более линз. Подбирают различные сорта стекла, обладающие различными показателями преломления, и соответствующим образом рассчитывают радиусы сферических поверхностей и взаимные расстояния между линзами, чтобы такой сложный объектив собирал в одном фокусе лучи различных длин волн. Расчет объектива обычно учитывает его назначение. Если он предназначен для визуальных наблюдений, то стремятся объединить в одном фокусе те лучи, к которым наиболее чувствителен глаз. Если же объектив предназначен для получения снимков на обычных пластинках, то стремятся объединить в одном фокусе синие и фиолетовые лучи, к которым чувствительны пластинки. Такой объектив называется *ахроматическим*. Полностью ахроматизовать объектив не удается и всегда остается небольшая вторичная (сильно уменьшенная) хроматическая аберрация.

Для получения ахроматического телескопа часто используют такую комбинацию линз, в которой передняя, двояковыпуклая, линза изготовляется из кронгласа (с коэффициентом преломления, близким к 1,5), а задняя, выпукло-вогнутая, из флинтгласа (имеющего коэффициент преломления около 1,6).

Существуют более сложные объективы, в которых хроматическая аберрация еще более уменьшена путем более совершенного расчета или путем применения трех линз. Их называют *апохроматами*.

В астрономических объективах линзы не склеены друг с другом, а отделены воздушными прослойками определенной толщины. Для этого внутри объектива располагают прокладки или разделяющие линзы кольца. Центры всех сферических поверхностей должны быть на одной прямой линии — главной оптической оси, что достигается тщательной центрировкой объектива.

Объективы, используемые для визуальных наблюдений, являются обычно длиннофокусными; у них главное фокусное расстояние в 10—15 раз превышает диаметр. Обычно у таких телескопов поле зрения небольшое.

Фотографические объективы гораздо сложнее визуальных. Их обычно делают многолинзовыми, особенно, если хотят получить большое поле зрения, т. е. сделать объектив широкоугольным. Приведем для примера схемы некоторых объективов, часто применяющихся на практике.

На рисунке 103 показано устройство различных объективов: а) Двухкомпонентный четырехлинзовый дублет Петцваля, применявшийся в звездной астрономии. Таким является знаменитый бредихинский астрограф. б) Трехлинзовый объектив — триплет, состоящий из двух выпуклых линз (кронглас) и одной двояковогнутой (флинтглас). в) Четырехлинзовый объектив «Тессар».

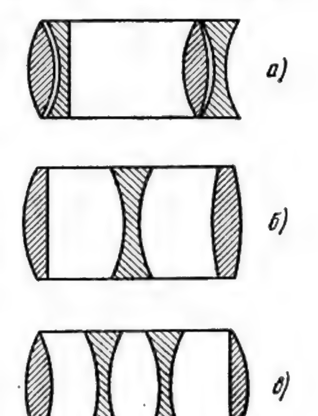


Рис. 103. Объективы: а) дублет Петцваля, б) триплет, в) четырехлинзовый объектив «Тессар».

Как триплеты, так и «Тессары» являются анастигматами (см. § 8). К типу «Тессаров» принадлежит и превосходный объектив, часто используемый любителями «Индустар-17». «Индустар» — несимметричный полусклеенный анастигмат.

Часто применяются в метеорной астрономии чрезвычайно светосильные объективы типа «Юпитер».

Любители астрономии нередко используют при своих наблюдениях объективы типа «Уран». Надо иметь в виду, что эти объективы фотовизуальные и при их использовании надо применять желтый светофильтр и снимать на ортохроматических или панхроматических пластинках или пленках.

§ 6. Окуляры

Окуляры делятся на два основных типа — положительные (Рамсдена) и отрицательные (Гюйгенса). На рис. 104 изображены устройства различных окуляров. Каждый окуляр состоит не менее чем из двух линз. Передняя линза, главное фокусное расстояние которой мы обозначим через f', называется *полевой*, а задняя линза, имеющая главное фокусное расстояние f'', — *глазной*.

Главное отличие положительных окуляров состоит в том, что у них передний фокус расположен вне окуляра, впереди полевой линзы. Поэтому положительные окуляры могут быть использованы как лупа. Их также используют в угломерных зрительных трубах для отсчета разделенных кругов и шкал.

При установке отрицательного окуляра в телескоп полевую линзу приходится помещать таким образом, чтобы она располагалась к объективу ближе главного фокуса последнего. Поэтому отрицательным окуляром нельзя пользоваться как лупой или применять в угломерных инструментах.

Сложными, состоящими из двух (и более) линз, окуляры изготовляются для уменьшения их хроматической аберрации. На рис. 104, *а* — *г* изображены схемы устройства положительных окуляров, а на рис. 104, *д* и *е* — отрицательных.

Наилучшими из положительных окуляров можно считать симметричные и ортоскопические; последние передают изображения небесных светил без искажений. Отрицательные окуляры выгоднее положительных, так как у них большее поле зрения. С этой точки зрения наиболее выгоден окуляр Миттенцвея.

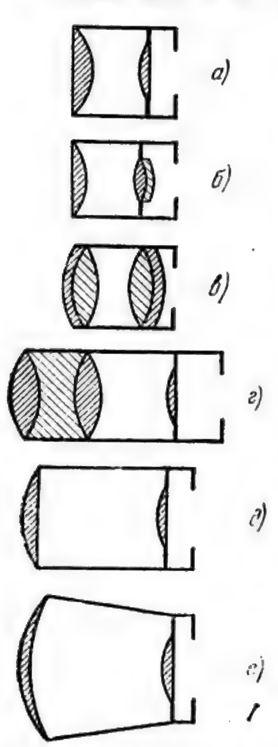


Рис. 104. Различные виды окуляров: а) Рамсдена, б) Кёлльнера, в) симметричный, г) ортоскопический, д) Гюйгенса, е) Миттенцвея.

Обозначим через e расстояние между линзами окуляра. Тогда для положительного окуляра Рамсдена справедлива пропорция $f' : e : f'' = 3 : 2 : 3$, а для отрицательных $f' : e : f'' = 3 : 2 : 1$ или $4 : 3 : 2$.

Телескоп, в состав которого входит один из описанных типов окуляров, создает перевернутые изображения. Существуют также более сложные окулярные устройства, так называемые земные окуляры, которые дают прямые изображения. Однако они для астрономических наблюдений невыгодны, так как у них большая потеря света и малое поле зрения.

§ 7. Проницающая сила телескопа и светосила

Проницающая сила телескопа характеризуется предельной звездной величиной (m) самой слабой звезды, которую при наилучших атмосферных условиях можно в него увидеть при визуальных наблюдениях. Ее можно приближенно определить по формуле

$$m = 2{,}5 + 5 \lg D,$$

где D — диаметр объектива, выраженный в миллиметрах. Отсюда для 100-миллиметрового телескопа проницающая сила равна 12,5 зв. вел., а для 200-миллиметрового — 14,0 зв. вел. Надо заметить, что просветление оптики несколько повышает проницающую силу телескопа.

При получении фотографических снимков большую роль играет и другая характеристика объектива — его *светосила*.

Прежде всего объектив характеризуется его относительным отверстием, которое определяется как отношение диаметра объектива к его главному фокусному расстоянию: $A = D/F$. Освещенность фотографической пластинки, расположенной в главной фокальной плоскости объектива, пропорциональна A^2; величину A^2 называют *геометрической светосилой*. Поэтому объективы, обладающие большим относительным отверстием, т. е. большей

светосилой, выгоднее, если мы хотим получать снимки слабо светящихся поверхностей или объектов. Однако у таких объективов меньший масштаб изображения.

В наиболее трудном положении находятся наблюдатели метеоров, применяющие фотографический способ наблюдений. С одной стороны, им надо для получения снимков возможно более слабых метеоров использовать объективы с относительным отверстием A порядка 1 : 1 или 1 : 2. С другой стороны, для выполнения более точных измерений координат или получения возможно большей дисперсии спектра метеора им надо иметь возможно больший масштаб, т. е. большое фокусное расстояние. К тому же объектив должен создавать возможно более четкие изображения на большом поле зрения, т. е. иметь большую разрешающую способность. Следовательно, при выборе объектива для метеорных наблюдений к нему приходится предъявлять очень высокие требования.

В заключение рассмотрим вопрос о разрешающей силе телескопа, используемого для визуальных наблюдений. *Разрешающей силой* телескопа называется минимальное угловое расстояние двух точечных источников света (звезд), которые видны в телескоп раздельно. Разрешающая сила вычисляется по формуле

$$S = \frac{116''}{D},$$

где D — диаметр объектива, выраженный в миллиметрах. Таким образом, телескоп с отверстием 100 мм теоретически позволяет разделить двойную звезду с угловым расстоянием 1″,2. Предел разрешающей силе ставит явление дифракции света.

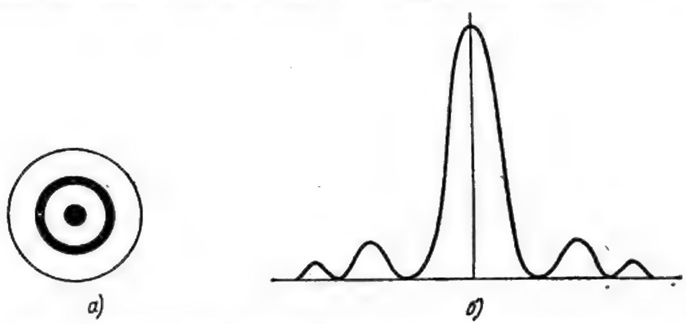


Рис. 105. Влияние дифракции света на изображения звезд: *а*) дифракционное изображение звезды; *б*) распределение интенсивности света в дифракционном изображении звезды.

Если посмотреть на изображение звезды при большом увеличении, то нетрудно убедиться, что оно не точечное, а имеет вид диска, окруженного концентрическими кольцами (рис. 105, *а*). Настоящее изображение звезды, если бы мы могли его получить, глубоко «потонуло» бы внутри дифракционного диска, составив его малую часть.

Вызвано это волновой природой света. Объектив «вырезает» из волнового фронта некоторую часть, ограниченную краями его оправы. На краях объектива создается сложная картина колебаний световых волн, что и дает в фокусе дифракционную картину — диск определенного размера, окруженный кольцами. Распределение интенсивности света в такой картине изображено на рис. 105, *б*. Размеры дифракционного диска пропорциональны длине волны и обратно пропорциональны диаметру объектива. Это явление ставит непреодолимый предел для разрешающей силы телескопа. Для повышения разрешающей способности приходится увеличивать размеры объективов или зеркал рефлекторов, так как дифракция света характерна и для последних.

§ 8. Недостатки оптических систем

Одним из самых существенных недостатков рефрактора является описанная выше хроматическая аберрация. Вторым недостатком как линзового, так и зеркального телескопов является *сферическая аберрация*. Объектив собирает пучок параллельных лучей не строго в одной точке. Края объектива создают изображение, расположенное ближе к объективу, а центральные части объектива образуют изображение более удаленное от него. Это явление называется *продольной* сферической аберрацией. Наименьший диаметр изображения точечного источника света называется *поперечной* сферической аберрацией.

Сферическую аберрацию стремятся уменьшить соответствующими расчетами поверхностей. Однако полностью ее устранить не удается. Ее влияние можно уменьшить, диафрагмируя объектив, но это уменьшает светосилу и проницающую способность. По этому пути можно пойти только при наблюдениях Солнца и Луны.

При астрономических наблюдениях, особенно фотографических, приходится использовать не только центральные части поля зрения, но и краевые. В этом случае мы сталкиваемся с влиянием аберрации лучей, проходящих через объектив по направлениям, составляющим иногда значительные углы с главной оптической осью.

Разделим объектив условно на ряд кольцевых зон; на рис. 106 эти зоны обозначены AA, BB и C. Пропустим через объектив пучок параллельных лучей, составляющих некоторый угол с главной оптической осью OO'. Краевая кольцевая зона AA создаст изображение, наиболее удаленное от оптической оси. Зона BB создаст изображение более близкое, а зона C — самое близкое. Так как мы устанавливаем фотографическую пластинку в главной фокальной плоскости, т. е. перпендикулярно к OO' на расстоянии F' от объектива, то изображение звезды будет иметь вид вытянутой, напоминающей каплю, фигуры, какая изображена в правой части рис. 106. В зависимости от свойств объектива «капля» может

быть обращена острием к центру поля зрения, или от него. Это явление называется *кóмой*. Объективы, у которых устранено явление комы, называются *апланатами*.

Для наклонных пучков лучей существенна еще одна аберрация, которая называется *астигматизмом*. Она возникает по следующей причине.

Если рассматривать различные сечения наклонного пучка, то оказывается, что расстояние точки схождения лучей в плоскости

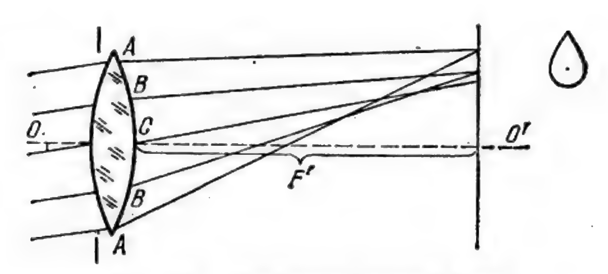


Рис. 106. К объяснению явления кóмы.

сечения от объектива, т. е. фокусное расстояние, зависит от ориентировки в пространстве этой плоскости или от ориентировки сечения объектива этой плоскостью.

Сечение объектива в направлении наклона пучка лучей носит название *меридионального*, сечение же в перпендикулярном направлении — *сагиттального* (рис. 107). Фокусное расстояние для меридиональных лучей не совпадает с фокусным расстоянием для лучей сагиттальных, что и приводит к астигматизму. В результате изображения на краях пластинки вытягиваются. Звезды выходят иногда в виде крестиков или «гвоздиков».

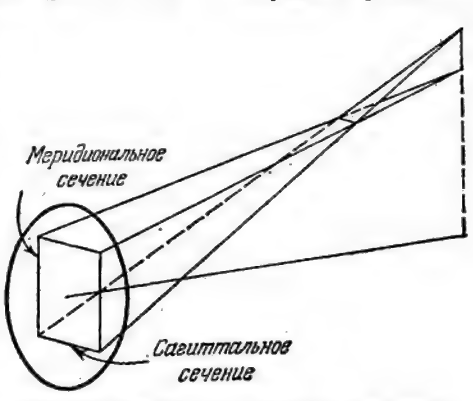


Рис. 107. К объяснению явления астигматизма.

Если влияние астигматизма устранено (или ослаблено), то такой объектив называется *анастигматом*.

Кома и астигматизм особенно проявляются у широкоугольных фотографических объективов. Объективы же визуальных рефракторов подвержены главным образом влиянию сферической и остаточной хроматической аберраций.

Фотографический объектив обладает еще одним недостатком. Фотографируя тот или иной предмет, мы хотим иметь его подоб-

ное изображение. Однако это не получается. Если бы изображение было в точности подобно оригиналу, то мы сказали бы, что оно *ортоскопично*. Любая оптическая система не удовлетворяет условию ортоскопичности. В этом легко убедиться на следующем примере. Нарисуем на экране прямоугольную сетку и получим ее снимок. Мы увидим, что изображение может иметь один из двух видов, показанных на рис. 108. Подобное этому искажение масштаба изображений называется *дисторсией*. Дисторсия обязательно должна быть исследована и в результате измерения координат надо вносить соответствующие поправки.

Рассмотрим теперь вопрос о разрешающей силе фотографического объектива. Для этого возьмем так называемый тест-объект— стеклянную пластинку, на которой нанесены темные полосы на светлом фоне по определенной системе, с различным количеством полос в квадратном сантиметре, т. е. с различной плотностью нанесения. Освещая тест-объект, мы можем рассматривать его изображение. После получения снимка тест-объекта рассматриваем изображения этих «марок», полученные в различных местах поля зрения. Так можно установить, в какой из марок линии видны раздельно, а в какой они вследствие влияния аберраций сливаются. Это дает возможность определить разрешающую силу объектива. Если, например, указано, что в центре поля зрения разрешающая способность равна 25 линий на миллиметр, то это означает, что все аберрации, действуя совместно, позволят увидеть раздельно две линии, находящиеся друг от друга на расстоянии 0,04 мм. Чем больше «линий на миллиметр», тем выше разрешающая способность объектива.

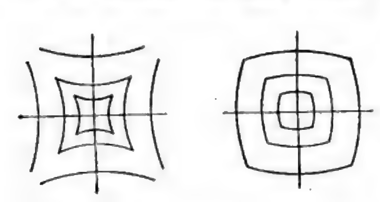


Рис. 108. Дисторсия объектива.

При получении снимков разрешающая способность объектива еще ничего не говорит о качестве снимка, и вот почему. Эмульсия фотографической пластинки имеет зернистое строение. При получении звездных и метеорных снимков употребляют высокочувствительные эмульсии пластинок или пленок, а они крупнозернистые. Это ухудшает совместную разрешающую способность снимка. Крупнозернистая эмульсия обладает разрешающей способностью 50—70 линий на миллиметр. Это надо учитывать при выборе объектива. Пластинки, имеющие низкую чувствительность, обладают разрешающей способностью около 300 линий на миллиметр и позволяют использовать лучшие объективы.

В заключение остановимся еще на одном явлении, которое называется *кривизной поля*. У некоторых объективов (или вогнутых зеркал) «уложить» все изображение в одну плоскость невозможно. Расстояние до фокуса оказывается зависящим от наклона лучей к главной оптической оси. Такое поле иногда называют кривым. При этом поле может быть выпуклым или вогнутым,

в зависимости от свойств объектива. В таком случае пластинку (а лучше пленку) приходится выгибать с тем, чтобы как центральные, так и краевые части поля зрения были в фокусе.

§ 9. Наладка оптической системы рефрактора

Если нижний предел возможного увеличения телескопа определяется, как мы видели, размером выходного зрачка, то верхний предел — качеством изображений. Окуляры с фокусным расстоянием, меньшим 5 мм, на практике не применяются по двум причинам. При большом увеличении значительное влияние оказывает дифракция. Кроме того, турбулентные движения в земной атмосфере делают изображения расплывающимися и дрожащими.

Вместе с тем дифракционная картина позволяет судить о качестве объектива и правильности центрировки всей оптической системы.

Дифракционный диск и дифракционные кольца должны иметь четкий вид, если только атмосферные условия в данный момент достаточно хороши. Если они имеют неправильную, извилистую форму, которая сохраняется длительное время, то это свидетельствует о плохом качестве объектива (рис. 109). Это можно проверить, вращая объектив в его оправе — неправильная фигура дифракционного диска должна при этом поворачиваться.



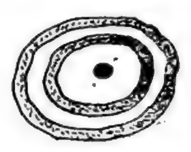


Рис. 109. Различная форма дифракционных колец в зависимости от качества объектива и регулировки телескопа.

Может оказаться, что дифракционный диск и кольца имеют эллиптическую форму. Это означает, что оптические оси объектива и окуляра не совпадают.

Для проверки повернем окуляр вокруг его продольной оси. Если вид изображения не меняется, то в искажении виноват наклон объектива. Для изменения этого наклона в оправе, в которую ввинчивается оправа объектива, предусмотрены три регулировочных и три стопорных винта. Отпуская стопорный и завинчивая регулировочный винты, мы можем добиться нужного положения объектива, при котором дифракционная картина примет круговую форму. При этом руководствуются следующим правилом. При овальной форме изображения один из краев будет казаться более ярким. Тот край объектива, который расположен со стороны более яркой части диска, надо удалить от окуляра.

Иногда оказывается расцентрированным сам объектив; это означает, что линзы наклонены под некоторым углом друг к другу

и их оптические оси не совпадают с главной оптической осью всей системы. В таких случаях мы видим не точечное изображение звезды, а ее маленький спектр. Объектив надо центрировать, что выполняется не столь просто. Многолинзовый объектив разбирать самому никоим образом нельзя. Его надо отдать специалисту-оптику. Двухлинзовый объектив центрировать можно, но это потребует затраты большого количества времени.

Объектив надо осторожно разобрать. Отпустив зажимное кольцо оправы (вывинтив его), объектив осторожно переворачивают так, чтобы обе линзы выпали на мягкую подстилку, без сдвига. На фаске объектива (матовом крае диска) наносят карандашом *V*-образную черту так, чтобы она захватила обе линзы. Тогда после сборки объектива надо будет совместить эту фигуру в прежнем положении линз. Изменяя толщину прокладок, отделяющих линзы, меняют их взаимный наклон. При этом надо для начала изменить одну из прокладок — ту, вдоль которой была направлена дисперсия наблюдавшегося спектра. Осторожно собрав объектив, аккуратно поместив его в оправу (для чего надевают на лежащий на мягкой подкладке объектив оправу, а затем, осторожно перевернув оправу вместе с мягкой подкладкой, завинчивают стопорное кольцо), укрепляют объектив на его место в телескопе и смотрят, как изменилась картина. Центрировка объектива потребует многочисленных проб и повторений этого процесса.

При этом надо помнить, что пробы надо производить, наблюдая звезды, близкие к зениту. Наблюдающийся спектр звезды может возникнуть не из-за неисправности центрировки, а в результате действия дифференциальной рефракции земной атмосферы — *атмосферной дисперсии*. У зенитных звезд ее нет.

§ 10. Рефлектор

В отражательном телескопе — *рефлекторе* — параллельный пучок лучей падает на вогнутое зеркало, имеющее форму параболоида вращения, отражается от него и собирается в главном фокусе, где создается точечное изображение, окруженное, как и у рефрактора, дифракционными кольцами. При помощи окуляра можно рассматривать увеличенное изображение небесного светила, т. е. выполнять визуальные наблюдения. Так как главный фокус зеркала помещается между поверхностью зеркала и объектом, то надо «вывести» луч из трубы рефлектора. Для этого используется несколько различных систем.

На рис. 110, *а* изображена наиболее доступная любителю система Ньютона. Луч «выводится» в сторону при помощи малого наклонного (под углом 45° к главной оптической оси) плоского зеркала; здесь помещается окуляр (или кассета с фотографической пластинкой). Смотреть в трубу приходится сбоку.

Система Кассегрена (рис. 110, *б*) состоит из главного параболического зеркала, в центре которого еще при его изготовлении было сделано центральное отверстие для «выхода» лучей.

Вторичное малое зеркало имеет здесь форму выпуклого гиперболоида вращения, что необходимо для удлинения главного фокусного расстояния системы.

Система Нэсмита сходна с системой Кассегрена, с тем отличием, что в ней есть третье, плоское малое зеркало, выводящее лучи, как в системе Ньютона, в сторону. Ход лучей можно проследить на рис. 110, *в*. В этой системе нет необходимости предварительно сверлить параболическое зеркало.

Система Грегори сходна с системой Кассегрена, но в ней малое зеркало, имеющее форму вогнутого эллипсоида вращения, установлено за главным фокусом большого зеркала (рис. 110, *г*).

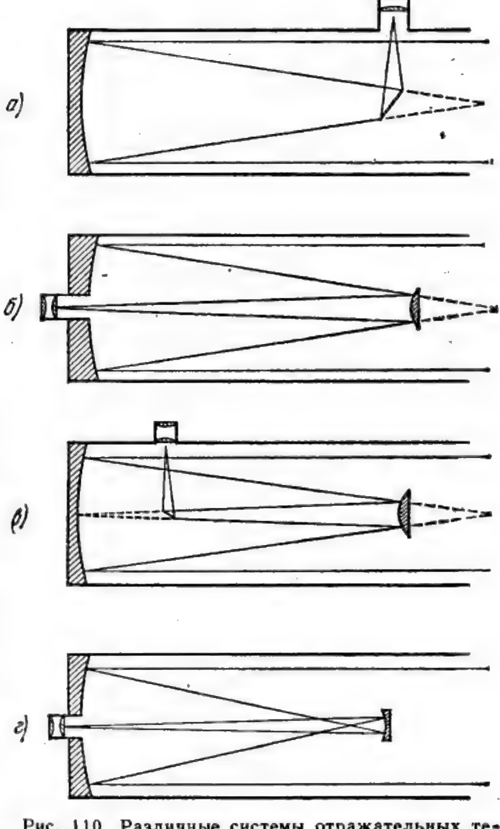


Рис. 110. Различные системы отражательных телескопов: *а*) система Ньютона, *б*) система Кассегрена, *в*) система Нэсмита, *г*) система Грегори.

Главное преимущество рефлектора состоит в том, что у него нет хроматической аберрации и потому он не дает окрашивания изображений небесных светил. Небольшую хроматическую аберрацию может внести окуляр.

У рефлектора много и недостатков. Все другие аберрации — сферическая, кома и астигматизм у него гораздо больше, чем у рефрактора. Он также обладает очень большой фотометрической ошибкой поля.

Для астронома-любителя рефлектор особенно ценен тем, что его можно изготовить самостоятельно. Подробное описание процесса изготовления рефлектора можно найти в книге М. С. Навашина «Самодельный телескоп-рефлектор» (М.: Наука, 1979).

Центрировка рефлектора. Главная задача, которую преследует центрировка, состоит в отыскании для всех элементов системы — главного зеркала, плоского зеркала и окуляра — пра-

вильных положений. Поэтому все эти элементы снабжены установочными винтами.

Хотя способы центрировки описаны в книге М. С. Навашина, мы намерены поделиться собственным опытом центрировки рефлектора.

На рис. 111 показано устройство оправы главного зеркала; она состоит из металлической рамы, имеющей вид кольца (для вентиляции зеркала), к которой прикреплены три плоские полосы — выступы A_1, A_2 и A_3. В каждом из выступов сделано по два отверстия a_k и b_k; отверстия b_k имеют винтовые нарезки, в которые ввинчиваются регулировочные винты D_k. Отверстия a_k

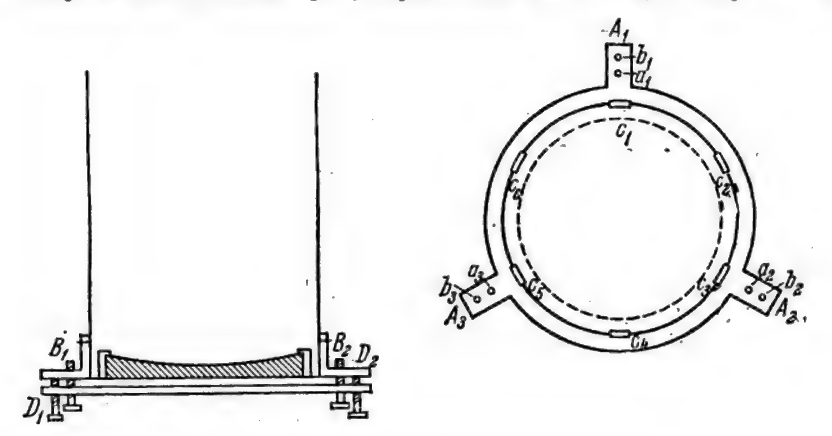


Рис. 111. Система устройства оправы зеркала.

сделаны несколько бо́льшими, с тем чтобы закрепляющие винты B_k могли свободно проходить через них.

Зеркало укрепляется на кольцеобразной раме (внутренняя граница рамы изображена на рис. 111 прерывистой линией). Автор укреплял зеркало при помощи «лапок» c_1, c_2, ..., c_6. Однако это нехорошо, так как лапки могут сколоть края зеркала. Поэтому желательно изготовить кольцо с загнутым верхом, которое прижало бы все зеркало к раме через подложенный под него по краям войлок или фланель. После этого можно привинтить оправу к раме винтами c_k.

Чтобы соединить оправу зеркала с трубой, к задней части трубы прикрепляется массивное кольцо с тремя прикрепленными к нему кронштейнами в форме уголков. В каждом из уголков проделывается отверстие с нарезкой, в которое завинчиваются закрепляющие винты B_k. С их помощью зеркало прочно прикрепляется к трубе, а регулировочные винты D_k позволяют изменять наклон зеркала по отношению к продольной оси трубы. Полезно нанести на оправе зеркала и на кольце трубы метки после того как зеркало установлено на место. Это позволит впоследствии вос-

становить прежнее положение зеркала после его снятия и сократит время, уходящее на повторную установку зеркала.

Чтобы уберечь зеркало от пыли, полезно изготовить крышку, которую следует вводить внутрь трубы через боковое отверстие в ней, закрываемое после использования заслонкой.

Узел крепления плоского зеркала должен иметь большее количество регулировочных приспособлений. Он изображен на рис. 112. Для укрепления плоского зеркала изготовляется сплошной цилиндр A, который срезан под углом 45° к его продольной

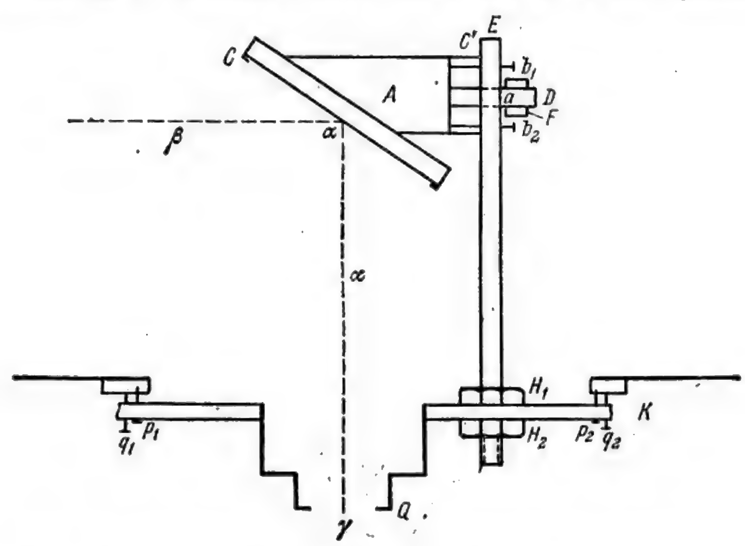


Рис. 112. Схема крепления плоского зеркала внутри трубы рефлектора.

оси. В его передней части устанавливается оправа плоского зеркала, которую полезно сделать в виде круглой коробочки (в нее ляжет зеркало полированной и алюминированной поверхностью наружу) с винтовой нарезкой на внешней цилиндрической стенке. На эту нарезку должно навинчиваться крепежное кольцо, которое прижмет плоское зеркало к дну коробочки своими закраинами. Под зеркало надо подложить мягкую подстилку.

Металлический цилиндр A имеет в своей задней части стержень D, свободно (но без излишней свободы) входящий в стойку в виде стержня E через отверстие a. Снаружи на стержень D, обладающий нарезкой, навинчивается гайка F. Весь цилиндр A может свободно перемещаться, если его не закрепить регулировочными винтами. Для этого к стержню E прочно прикреплен диск C', имеющий такой же диаметр, что и цилиндр A. В нем сделаны три отверстия с нарезками, в которые входят три регулировочных винта, b_1, b_2 и b_3.

Таким образом, стержень E и цилиндр A дают возможность наклонять зеркало в нужное положение; с другой стороны стер-

жень E заканчивается нарезкой, которая при помощи двух гаек, H_1 и H_2, прикрепляет стойку E к окулярной доске K; в этой доске имеется отверстие для установки окулярного тубуса Q. Внутри этого тубуса должна перемещаться трубочка с укрепленным в ней окуляром; это перемещение можно делать при помощи кремальеры. Однако можно этого избежать. Можно сделать на этой трубочке нарезку, которая позволила бы ввинчивать окулярную трубку внутрь тубуса Q для фокусировки окуляра.

Окулярная доска привинчивается к телу трубы тремя винтами p_1, p_2 и p_3, рядом с которыми помещаются три регулировочных винта q_1, q_2 и q_3, позволяющих изменять наклон окулярной доски.

Для центрировки рефлектора полезно, кроме окуляра, заготовить длинную трубку (юстировочную), которую можно было бы устанавливать вместо окуляра. Трубка без оптики должна быть длиной около 25 см и иметь в передней части крест нитей. В задней ее части надо установить небольшую глазную диафрагму с отверстием 2—5 мм. Глаз наблюдателя, смотрящий сквозь это небольшое отверстие, должен отчетливо видеть пересечение креста нитей в центре поля зрения трубки. Затем в центре большого параболического зеркала надо нанести тушью небольшую «точку», такую, чтобы она была видна впоследствии через юстировочную трубку. Этим мы ничего не испортим, так как центральная зона зеркала, загороженная от объекта плоским зеркалом, при наблюдениях небесных светил «не работает». И, наконец, на внешней части кольца оправы плоского зеркала надо натянуть две черные нити по взаимно перпендикулярным направлениям, так, чтобы образующийся крест находился в центре оправы.

Теперь все подготовлено для того, чтобы начать центрировку. Посмотрим, каким условиям должна удовлетворять центрированная система.

Так как внешняя часть оправы плоского зеркала выступает над его полированной поверхностью, то наблюдатель, рассматривающий плоское зеркало через юстировочную трубку, видит раздельно и крест нитей и его отражение в плоском зеркале. Пересечение этих двух крестов он видит как небольшой квадрат или параллелограмм. Направив телескоп на освещенный равномерным светом яркий фон голубого неба, мы должны увидеть все большое зеркало; в его центре должно быть видно изображение плоского зеркала, а черная точка, нанесенная нами в центре большого зеркала, должна быть видна внутри параллелограмма, образованного крестом нитей оправы плоского зеркала и его отражением. Изображение же черной точки должно, кроме того, совпадать с крестом нитей юстировочной трубки. Если отвести глаз от отверстия юстировочной трубки, так, чтобы он был хорошо освещен дневным светом, то мы увидим изображение собственного глаза, создаваемое всей оптической системой. Свет при этом проделывает следующий сложный путь. От глаза он идет

через юстировочную трубку к плоскому зеркалу, отражается от него к большому зеркалу, отражается назад от большого зеркала к плоскому и, отразившись от последнего, попадает опять в глаз наблюдателя. При центрированной системе изображение глаза должно быть видно в центре параллелограмма, совпадать с изображением черной точки и находиться на кресте нитей юстировочной трубки! Именно такой картины надо добиваться при выполнении центрировки рефлектора системы Ньютона. Это делают при помощи всех описанных выше регулировочных винтов.

Прежде всего надо правильно расположить плоское зеркало относительно окулярной части, для чего надо установить длину стойки E. Это можно сделать заранее после несложного расчета. Необходимо, чтобы центр плоского зеркала находился на продольной центральной оси трубы. Перемещение плоского зеркала вдоль стойки осуществляется вращением гаек H_1 и H_2.

После этого надо установить плоское зеркало в такое положение, чтобы его центр был виден на продольной оси юстировочной трубки. Это осуществляется путем передвижения стержня D, путем завинчивания гайки F и отпускания винтов b_k на стойке E. Эти же винты помогут поставить плоское зеркало под углом 45° к оси юстировочной трубки. Итак, после этих операций крест нитей юстировочной трубки будет находиться в центре параллелограмма. Теперь надо установить плоское зеркало таким образом, чтобы в него было видно главное зеркало. Это осуществляется, во-первых, вращением всей стойки E вокруг направления H_1H_2 и, во-вторых, наклоном всей окулярной части при помощи винтов p_k и q_k. Мы должны увидеть после выполнения этих операций заднее отверстие трубки в положении, концентрическом по отношению к краю поля зрения юстировочной трубки.

Теперь можно будет приступить к центрировке большого зеркала. Посмотрев внутрь юстировочной трубки, мы увидим освещенную поверхность большего зеркала и отражение в нем малого. Регулируя винты B_k и D_k, будем добиваться такого их расположения, как было описано выше.

После окончания описанных операций надо заменить юстировочную трубку окуляром и начать испытание по звездам. Экстрафокальные изображения должны быть круглыми, равномерно залитыми светом, с темной центральной дырочкой, «тенью» плоского зеркала. Если этого нет, то надо уточнять центрировку. Фокальные же изображения звезд — маленькие дифракционные диски, окруженные кольцами.

Уход за рефлектором. Проницающая сила рефлектора зависит как от качества отражающих поверхностей, так и от качества их покрытия металлическим отражающим слоем и его чистоты. Поэтому зеркала надо закрывать специальными крышками во избежание попадания пыли. И все-таки, несмотря на все меры предосторожности, пыль на них попадает. Чистка зеркала — операция не очень простая, так как надо никоим образом не поцарапать

нанесенный на зеркало тонкий металлический слой. Пыль удаляют, смахивая ее с зеркала мягкой беличьей кисточкой. Сильно загрязненное зеркало можно помыть. Для этого приготовляют раствор детского мыла в дистиллированной воде и купают зеркало в нем, смыв потом чистой дистиллированной водой.

С течением времени поверхностный металлический слой все равно тускнеет. Приходится его удалять, а затем снова покрывать поверхность зеркала новым металлическим слоем. Теперь зеркала алюминируют, а раньше их серебрили. Алюминирование производится в вакууме путем напыления металла на стекло. Это любителю недоступно. Поэтому ему приходится зеркало серебрить, что представляет довольно сложный химический процесс. Способ серебрения зеркал описан в книге М. С. Навашина «Самодельный телескоп-рефлектор».

§ 11. Современные оптические системы

Недостатки классических оптических систем, рефракторов и рефлекторов, были нами уже описаны. Уже давно искали способы уменьшения их влияния. Для этого применяют соответствующие коррекционные линзы, вводимые в оптическую систему.

Один из таких усовершенствованных телескопов — анаберрационный рефлектор системы Шмидта. В нем главное большое зеркало имеет сферическую поверхность. Параллельный пучок лучей, отраженный сферической поверхностью, дает очень плохое изображение, сильно искаженное аберрациями. Чтобы это устранить, в передней части телескопа устанавливают прозрачную коррекционную пластину; параллельные пучки лучей проходят через нее раньше, чем они попадут на зеркало. Эта коррекционная пластина имеет очень сложную асферическую поверхность, которая рассчитана таким образом, чтобы устранить аберрации сферического зеркала и не внести хроматической аберрации. Все расчеты ведутся таким образом, чтобы поле зрения получилось возможно большим.

Изображение создается в пространстве между коррекционной пластиной и зеркалом — внутри телескопа. Вывести изображение наружу не легко и потому кассету с фотографической пластинкой помещают внутри телескопа, так что она диафрагмирует центральные части как линзы, так и зеркала. Пластинку располагают эмульсией к зеркалу.

Одним из недостатков этой системы является то, что поле зрения телескопа «кривое» и пленку надо выгибать. Для этого изготовляют особую кассету, на которую натягивают пленку.

Телескопов системы Шмидта изготовлено довольно много и довольно больших размеров. Они обладают большой светосилой и позволяют наблюдать очень слабые объекты.

Для получения метеорных фотографий американские астрономы создали специальные сверхсветосильные оптические системы,

которые получили название камер «супер-Шмидт». Схема устройства такой камеры показана на рис. 113. Фотографическая пленка «зажимается» внутри камеры, прижимаясь к внутренней поверхности сферической линзы. Ход лучей внутри такой камеры показан на рисунке стрелками.

Выдающийся советский оптик Д. Д. Максутов изобрел оптическую систему, которая получила широкое распространение. Она изображена на рис. 114. Главное зеркало, как и в системе Шмидта, имеет сферическую поверхность. Однако коррекционная

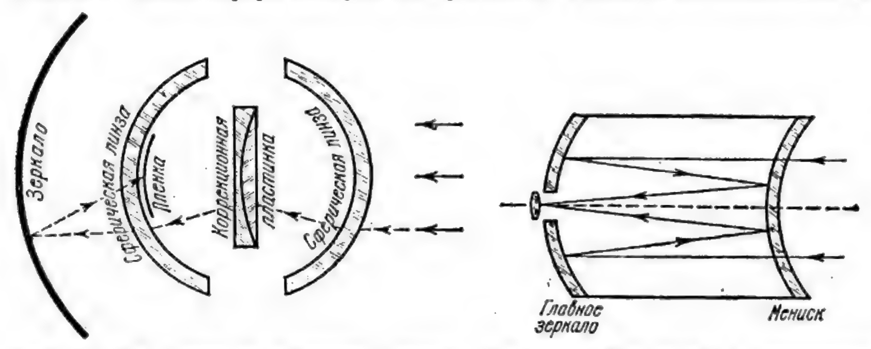


Рис. 113. Ход лучей в телескопе «супер-Шмидт».

Рис. 114. Ход лучей в менисковом телескопе Д. Д. Максутова.

линза гораздо проще. Это изготовленный из хорошего оптического стекла мениск, т. е. линза, ограниченная двумя одинаковыми сферическими поверхностями. Для вывода изображения из телескопа центральная часть мениска покрыта тонким слоем алюминия, который отражает пучок лучей в сторону главного зеркала. Конечно, это диафрагмирует центральную часть зеркала, но она в системе вообще «не работает». Эта система обладает большими достоинствами. У нее почти нет хроматической аберрации.

Влияние других аберраций также предельно уменьшено, сферические поверхности легче изготовляются и, кроме того, алюминированные поверхности закрыты в телескопе и не подвергаются действию атмосферных влияний — не запотевают и не пылятся. Кстати, промышленность выпускает хороший фотообъектив системы Максутова МТО-1000. Пристроив к нему окуляр, можно получить неплохой телескоп с отверстием 100 мм и фокусным расстоянием 1000 мм. Он позволяет получать увеличение до 120—150 раз.

Недостатком телескопа Д. Д. Максутова является следующее. Если мы хотим изготовить такой телескоп больших размеров, то надо сделать большой и толстый мениск. Стекло должно быть оптически однородным, чего не легко добиться. Кроме того, в большой толще стекла поглощается большое количество света и проницающая сила телескопа снижается.

Проф. П. П. Аргунов рассчитал иную оптическую систему, несколько более выгодную. Главное зеркало (рис. 115) имеет

сферическую форму. В сходящемся пучке располагают корректоры, изготовленные из нескольких специальных линз, имеющих также сферические поверхности. Корректоры исправляют аберрации. Одна из наиболее совершенных систем Аргунова, так называемая *изохроматическая*, имеет особый корректор, который совершенно не вносит хроматической аберрации и исправляет остальные. Система интересна также тем, что, заменяя корректоры, можно менять эквивалентное фокусное расстояние, т. е. делать телескоп многопрограммным. В прямом фокусе можно получать звездные снимки, так как при таком корректоре инструмент обладает большой светосилой. При других корректорах можно получить большие фокусные расстояния, а следовательно, и большие увеличения. При этом длина телескопа не изменяется. При всех достоинствах системы Аргунова она обладает и одним недостатком. В ней создается много рассеянного света, который может фокусироваться и создавать дополнительные ложные изображения — «призраки». Это, впрочем, свойственно и другим системам, содержащим несколько преломляющих поверхностей.

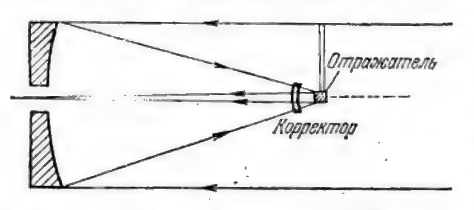


Рис. 115. Ход лучей в телескопе П. П. Аргунова.

§ 12. Установки телескопов

Телескоп устанавливают на прочном штативе. Любой из штативов имеет две взаимно перпендикулярные оси. Вращение вокруг этих осей позволяет направить телескоп на любое светило. Простейшая установка — *азимутальная;* одна из осей в этой установке вертикальная, а другая горизонтальная. Вращением вокруг горизонтальной оси мы изменяем наклон телескопа к плоскости горизонта, а вращением вокруг вертикальной оси — азимут.

Гораздо удобнее *параллактическая*, или *экваториальная* установка. Одна из ее осей устанавливается параллельно оси мира и называется *полярной осью*. Вращая телескоп вокруг полярной оси, мы заставляем его следовать за суточной параллелью светила. При наличии часового механизма телескоп автоматически следит за звездой, вращаясь вокруг полярной оси. Перпендикулярная к ней ось называется *осью склонений*. Вращая трубу вокруг нее, мы перемещаем телескоп в плоскости круга склонений.

Существуют два основных типа параллактических установок — немецкий и английский (рис. 116). Немецкая установка требует одной колонны, а английская — двух. Рефлекторы часто устанавливаются на «вилочных» штативах (рис. 117).

Многие наблюдения любитель астрономии может производить и без часового механизма, но экваториальная установка, хотя бы

примитивная, более чем желательна. Простейшие установки могут быть изготовлены даже из водопроводных труб.

Надо иметь прочную колонну, для чего может быть использован вкопанный в землю деревянный столб. Верхняя часть

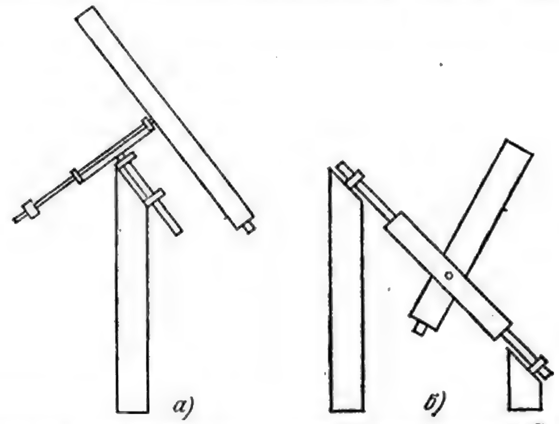


Рис. 116. Устройство параллактического штатива: *а*) немецкого типа, *б*) английского типа.

колонны срезается под углом, равным географической широте места наблюдения. Столб ориентируется перед его укреплением таким образом, чтобы плоскость среза была параллельна оси мира. На ней укрепляются два подшипника, в которые входит полярная ось. Вместо подшипников может быть установлен корпус автомобильного мотора. Сквозь отверстие в подшипниках (или в корпусе мотора) вставляют полярную ось, предварительно укрепив на ней толстую полосу в перпендикулярном направлении. Это будет опорой для двух подшипников, сквозь которые пройдет ось склонений. Вставив затем ось склонений, к которой прикреплен телескоп, в эти подшипники, закрепляют ось контршайбой со стопорным винтом таким образом, чтобы она не могла выпадать из подшипников. На одном конце оси склонений находится телескоп, а на втором противовес, перемещающийся вдоль оси склонений с тем, чтобы можно было уравновесить телескоп.



Рис. 117. Установка вилочного типа.

Настоящая фабричная установка имеет в нижней части колонны регулировочные винты, позволяющие менять наклон колонны

относительно горизонта, и винты, позволяющие поворачивать колонну вокруг вертикальной оси для правильной ориентации по азимуту. Кроме того, к осям прикреплены разделенные круги, позволяющие устанавливать телескоп на светило по его экваториальным координатам.

Прежде чем начать наблюдения на телескопе, необходимо убедиться, что полярная ось параллельна оси мира. Для этого наблюдают суточные движения звезд.

Наводим телескоп на звезду, близкую к кульминации. Ставим ее в центр поля зрения. Полезно иметь окуляр с натянутыми в его фокусе нитями. Поставив звезду на крест нитей, следят за ней, перемещая телескоп вокруг полярной оси. Если звезда не сходит с креста нитей — колонна телескопа поставлена по азимуту правильно. Если она отходит «вверх» или «вниз», то суточная параллель инструмента не совпадает с суточной параллелью небесной сферы. Колонну надо повернуть около вертикальной оси. Делая ряд испытаний, находят в конце концов правильное положение колонны.

Теперь надо проверить правильность установки телескопа по широте. Для этого выбирают не очень далекую от зенита звезду вблизи первого вертикала и следят за тем, как ее движение отклоняется от суточной параллели. Если она отходит, то приходится изменять соответствующим образом наклон полярной оси. При этом следует поочередно наблюдать две звезды — одну к востоку, а другую к западу, обе вблизи плоскости первого вертикала.

Правильная установка штатива особенно важна для выполнения фотографических наблюдений, если они к тому же делаются с длительной экспозицией.

Для более легкого наведения телескопа на нужный объект он снабжается искателем — небольшой зрительной трубкой, обладающей большим полем зрения, установленной параллельно оптической оси телескопа.

Кроме того, телескоп легко превращается в астрограф — прибор для фотографирования неба, если параллельно ему укрепить фотографическую камеру с широкоугольным объективом. Тогда сам телескоп играет роль гида — вспомогательной зрительной трубы, помогающей контролировать ход камеры за суточным движением неба.

§ 13. Астрограф астронома-любителя

Итак, располагая даже простейшей экваториальной установкой, можно превратить ее в астрограф, пригодный для получения фотографий звездного неба, переменных звезд, комет и т. п. Для этого прежде всего надо сделать фотографическую камеру.

Камера должна быть прочной. Поэтому сначала изготовляется из уголкового железа каркас — «скелет» камеры, который затем обшивают с боков металлическими листами и надежно закра-

шивают, чтобы внутрь камеры не попадал посторонний свет (рис. 118). Переднюю часть камеры также закрывают металлическим листом, в котором сделано центральное отверстие, немного большего диаметра, чем диаметр объектива. В задней части камеры укрепляют пазы, в которые будет вдвигаться кассета.

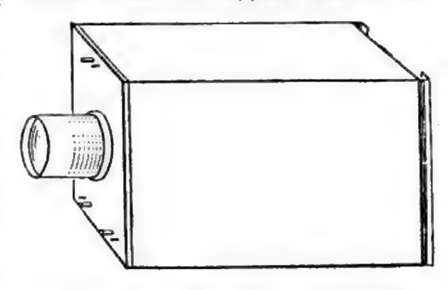


Рис. 118. Устройство фотографической камеры. В передней доске укреплены три центрировочных и три стопорных винта.

Объектив лучше всего укреплять в оправе, имеющей винтовую нарезку, которая позволяет в небольших пределах изменять расстояние от объектива до пластинки и тем самым фокусировать камеру.

Теперь надо изготовить достаточно прочную пластину, на которой укрепить кольцо, в которое будет ввинчиваться объектив. Эту пластину надо взять таких размеров, чтобы она полностью закрывала переднюю стенку камеры и крепилась к «скелету» винтами, входящими в уголковое железо. Три винта служат для крепления, а три других, упорных винта,

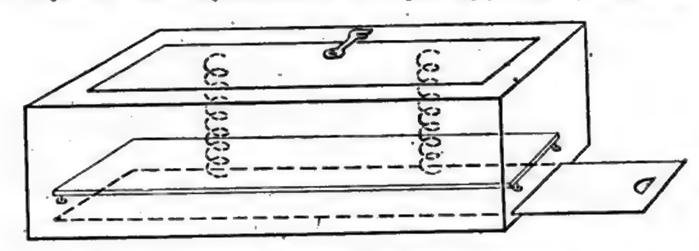


Рис. 119. Устройство кассеты для фотографической камеры.

ввинченных рядом с первыми, служат для точной юстировки плоскости пластины. Эти винты служат для центрировки камеры.

Фотографическую камеру надо прикрепить к телескопу, параллельно ему, но на некотором от него расстоянии, так, чтобы передняя часть трубы не заслоняла части поля зрения. Лучше всего крепить в таком положении, чтобы центр тяжести камеры находился на продолжении оси склонений.

Кассета, в которую вкладывается пластинка (или пленка под прозрачное стекло), должна быть сделана прочной, с таким расчетом, чтобы пластинка всегда устанавливалась в том же положении. Любительские кассеты для получения хороших снимков не годятся. Лучше изготовить кассету по типу, показанному на рис. 119. Пластинка в нее вкладывается с задней стороны и прижимается к внутренней рамке пружинами. Открывается кассета при получении снимка выдвижением заслонки.

Теперь можно приступить к наладке камеры. Ее прежде всего надо отфокусировать по всему полю зрения. Для этого производится на одной пластинке серия снимков какой-либо яркой зезды. При этом мы перемещаем телескоп так, чтобы все снимки расположились на пластинке «цепочкой» в определенном порядке. Сначала, вывинтив объектив, делаем первый снимок. Затем повторяем снимки, каждый раз делая один полный поворот объектива в нарезке и считая повороты. Наименьшее, точечное изображение звезды соответствует отфокусированному положению объектива.

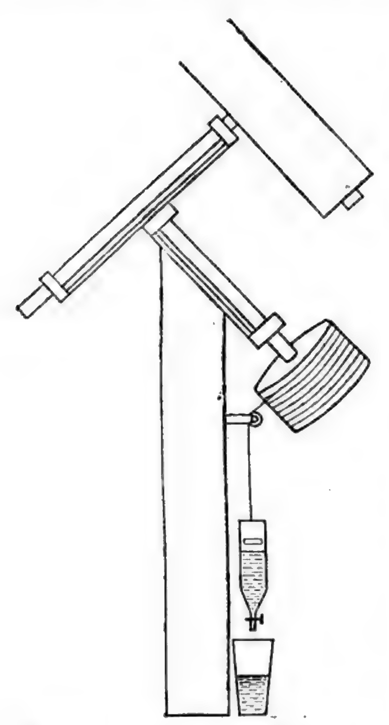


Рис. 120. Устройство самодельного часового механизма к астрографу.

Может оказаться, что часть пластинки будет находиться в фокусе, в то время как другая часть — вне фокуса. Это означает, что кассета не перпендикулярна к оптической оси объектива. Тогда надо наклонять переднюю, несущую объектив пластину, пользуясь регулировочными винтами. При наличии изображений многих цепочек, разбросанных по полю зрения, легко установить, в какую сторону надо наклонять пластину. После исправления этой ошибки надо снова повторить фокусирование камеры, может быть, вдвигая объектив на доли оборота.

При длительных экспозициях необходимо все время перемещать телескоп, следя за звездой в гид. Вот тут, конечно, необходимо иметь часовой механизм. Предлагали такую упрощенную его конструкцию.

К нижнему концу полярной оси (рис. 120) прикрепляют выточенный из прочного дерева барабан с проточенными на нем по винтовой линии канавками. На этот барабан наматывают трос, наглухо прикрепив один его конец к барабану. При сматывании троса с барабана телескоп будет вращаться вокруг полярной оси. Далее трос пропускают через ролик и ко второму концу троса прикрепляют сосуд, наполненный водой.

Груз будет тянуть трос вниз и телескоп будет вращаться вокруг полярной оси. Однако груз падает равноускоренно и вращение должно ускоряться, а нам надо, чтобы часовой механизм вращал трубу равномерно. Поэтому в нижней части сосуда сделан кран, через который вода будет вытекать в ведро. Тогда вес сосуда будет

постепенно уменьшаться и можно так отрегулировать краном вытекание воды, чтобы вращение телескопа было равномерным. Это облегчит гидирование.

Проф. Б. А. Воронцов-Вельяминов предложил другой принцип устройства любительского астрографа, в котором гидирование осуществляется автоматически, без применения зрительной трубы (Астрономический Календарь на 1950 год, с. 141). Если камера имеет небольшое фокусное расстояние, то масштаб снимка мал, так что можно без большой погрешности перемещать камеру не непрерывно, а небольшими толчками, через столь малые промежутки времени, за которые изображения звезд не успеют вследствие суточного движения заметно растянуться.

В Астрономическом Календаре на 1958 г. опубликована статья И. Д. Новикова и О. Б. Ржаницыной «Самодельный астрограф для фотографирования звездного неба». В этой статье авторы описали свой опыт изготовления любительского широкоугольного астрографа.

§ 14. Угломерные астрономические инструменты

Одна из основных задач астрономии состоит в определении координат небесных светил, точного времени (поправки часов) и географических координат. Эта задача решается при помощи астрометрических инструментов, которые можно разделить на два класса: стационарные и переносные.

а) Стационарные инструменты. *Пассажный инструмент* состоит из зрительной трубы, вращающейся вокруг горизонтальной оси, направленной с запада на восток. Очевидно, что при вращении трубы продолжение ее оси «прочерчивает» на небесной сфере меридиан. Наблюдаются прохождения небесных светил через меридиан наблюдателя; определяется момент кульминации. Прохождения звезд через меридиан регистрируются микрометром, связанным с хронографом и с основными часами обсерватории. Применяется также фотоэлектрический метод наблюдений прохождений; в этом случае нити заменяются прозрачными щелями, а глаз — фотоумножителем. Инструмент используется для определения поправок часов и определений прямых восхождений звезд.

Меридианный круг, так же как пассажный инструмент, устанавливается в меридиане. В отличие от последнего обладает разделенными точными кругами, показания которых при наведении трубы на звезду дают возможность определить зенитное расстояние кульминирующего светила, а по нему вычислить его склонение. Используется так же, как и пассажный инструмент, для определения поправок часов и прямых восхождений небесных светил.

Зенит-телескоп служит для определения точного значения географической широты места наблюдения из измеренных зенитных расстояний близких к зениту звезд.

Все эти инструменты недоступны любителю астрономии.

б) Переносные инструменты. Эти инструменты предназначены главным образом для определения точных значений географических координат. Поэтому их используют в экспедициях. Основной прибор — *универсальный инструмент.* Он состоит из зрительной трубы, укрепленной на горизонтальной оси. Вращение вокруг горизонтальной оси позволяет определять зенитные расстояния, так как с этой осью скреплен тщательно разделенный круг с приспособлением, позволяющим делать отсчеты. Зрительная труба вместе с горизонтальной осью вращается вокруг вертикальной оси; повороты меняют азимуты инструмента, значения которых отсчитывают по разделенному горизонтальному кругу. Для точной установки вертикальной оси вдоль линии отвеса опоры инструмента снабжены тремя регулировочными винтами, а сам инструмент точными уровнями. Оба разделенных круга поделены с одинаковой точностью. Универсальный инструмент — дорогой прибор, и его обычно нет в распоряжении любителя астрономии.

Однако по типу этого инструмента устроен более простой прибор — *теодолит*, который может быть использован любителем для описанных выше целей.

Способ употребления этого инструмента описан во многих книгах. Рекомендуем любителю воспользоваться книгой Б. А. Волынского «Астрономия» (М.: Просвещение, 1971).

§ 15. Микрометры

В практике любительских научных наблюдений встречаются такие случаи, когда необходимо определить возможно более точные значения экваториальных координат небесного светила. Допустим, что найдена новая комета или вспыхнула новая звезда. Конечно, приближенные координаты можно определить, нанеся светило на звездную карту, но это будет очень неточно.

Гораздо более точные координаты можно определить при помощи простейшего прибора, который легко изготовить самому. Этот прибор — *кольцевой микрометр.* Он состоит из положительного окуляра, в переднем фокусе которого помещена прозрачная пластинка с нанесенным на ней непрозрачным кольцом (рис. 121). Для самостоятельного изготовления такого микрометра достаточно взять отфиксированную фотографическую пластинку, вырезать из нее круг такого диаметра, чтобы можно было вставить в оправу окуляра, и наклеить на нее металлическое кольцо.

Наблюдение состоит в следующем. Находим объект, положение которого мы хотим измерить, и устанавливаем телескоп неподвижно так, чтобы объект прошел в своем суточном движении недалеко от центра поля зрения. Для определения его координат нужны две звезды сравнения, которые в своем суточном движении также будут пересекать темное кольцо. Их координаты надо взять из

каталога. Наблюдение состоит в отметке моментов захождения за «передний» край кольца и выхода из-за его «заднего» края звезд сравнения и объекта. При этом нет надобности пользоваться часами, а можно использовать секундомер; единственное условие состоит в том, что моменты должны быть отмечены возможно точнее.

Обозначим момент захода объекта и звезд сравнения за «передний» край кольца через t_0, t_1, t_2. Моменты выхода из-за «заднего» края обозначим через t_0', t_1', t_2'.

Проведем через центр поля зрения круг склонений NS. Тогда моменты прохождения всех светил через этот круг склонений определятся как полусуммы наблюденных моментов:

для объекта

$$\frac{t_0' + t_0}{2} = \bar{t}_0,$$

для первой звезды сравнения

$$\frac{t_1' + t_1}{2} = \bar{t}_1,$$

для второй звезды сравнения

$$\frac{t_2' + t_2}{2} = \bar{t}_2.$$

Тогда прямое восхождение объекта можно вычислить по формуле

$$\alpha_0 = \alpha_2 + (\alpha_1 - \alpha_2)\frac{\bar{t}_2 - \bar{t}_0}{\bar{t}_2 - \bar{t}_1},$$

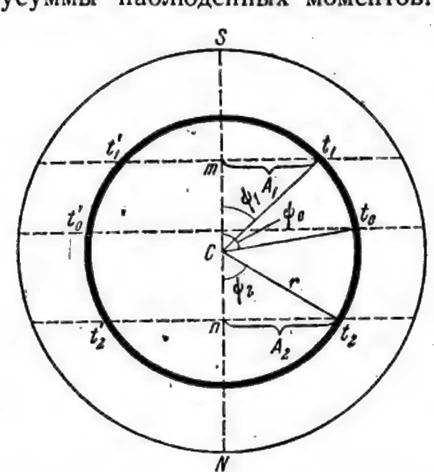


Рис. 121. Схема наблюдений с кольцевым микрометром.

где α_0 — прямое восхождение объекта, α_1 и α_2 — прямые восхождения звезд сравнения.

Определение склонения требует более сложных вычислений. Надо прежде всего определить угловой радиус кольца. Рассматриваем два треугольника, которые легко найти на рис. 121. Из них находим

$$A_1 = r'' \sin\psi_1 = 15''\frac{t_1' - t_1}{2}\cos\delta_1, \quad A_2 = r'' \sin\psi_2 = 15''\frac{t_2' - t_2}{2}\cos\delta_2.$$

Здесь значок $''$ показывает, что величины выражены в секундах дуги.

В уравнения входят три неизвестных: r'', ψ_1 и ψ_2.

Определение δ_0 можно выполнить, исходя из следующих соображений. Из рис. 121 видно, что $mC = r'' \cos\psi_1$ и $nC = r'' \cos\psi_2$. Однако $mC + nC = (\delta_2 - \delta_1)'' = \Delta$ разности склонений звезд сравнения. Таким образом,

$$r'' (\cos\psi_1 + \cos\psi_2) = (\delta_2 - \delta_1)'' = \Delta.$$

Чтобы определить r'', надо исключить ψ_1 и ψ_2. Находим

$$\sin\psi_1 = \frac{A_1}{r''}; \quad \sin\psi_2 = \frac{A_2}{r''}$$

или

$$r''\left[\sqrt{1-\frac{A_1^2}{(r'')^2}}+\sqrt{1-\frac{A_2^2}{(r'')^2}}\right]=\Delta.$$

Избавляясь от корней, вычисляем r'' по формуле

$$r''^2 = \frac{A_1^2 + A_2^2}{2} + \frac{\Delta^2}{4} + \frac{(A_1^2 - A_2^2)^2}{4\Delta^2}.$$

Найдя r'', мы можем определить склонение объекта, для чего используем формулу

$$\sin\psi_0 = \frac{15''}{r''}\,\frac{t_0' - t_0}{2}\cos\delta,$$

в которой можно под знаком косинуса принять приближенное значение склонения $\delta = (\delta_1 + \delta_2) : 2$. Тогда

$$\delta_0 = \delta_1 + r''(\cos\psi_1 - \cos\psi_0),$$

если объект прошел выше центра поля зрения, и

$$\delta_0 = \delta_1 + r''(\cos\psi_1 + \cos\psi_0),$$

если объект прошел ниже центра поля зрения.

Кольцевой микрометр — простейший прибор, вполне доступный для любителя астрономии. К тому же при выполнении наблюдений телескоп должен быть неподвижным, так что эти наблюдения не требуют часового механизма.

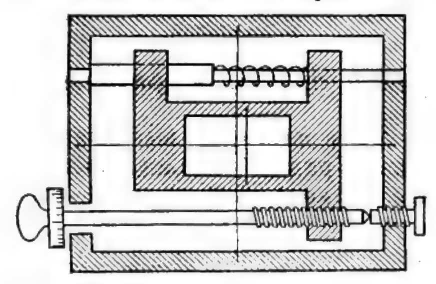


Рис. 122. Устройство окулярного микрометра.

В практике относительных астрономических определений употребляется *окулярный микрометр*, схема устройства которого показана на рис. 122. Основная деталь микрометра — рамка, на которой натянуты нити, перемещаемые микрометрическим винтом; на барабане последнего нанесены деления, позволяющие измерять продольные перемещения нитей. Такого прибора обычно у любителя астрономии нет.

Микроскоп-микрометр является соединением в одну оптическую систему микроскопа и окулярного микрометра. Объектив микроскопа создает изображение измеряемого предмета в своем главном фокусе. Здесь же располагаются нити окулярного микро-

метра, которые видны через положительный окуляр вместе с измеряемым предметом. Установив микроскоп-микрометр на прочной подставке, позволяющей положить измеряемый фотоснимок на столик и рассматривать последний в проходящем свете, мы можем с его помощью измерять одну из координат, что, в частности, необходимо при изучении метеорных снимков и метеорных спектрограмм (см. § 20).

§ 16. Методы визуальной фотометрии

Фотометрические определения можно выполнять различными методами. В настоящее время наибольшее развитие получил фотоэлектрический способ (см. § 19). Все еще широко применяется фотографический способ (см. § 18). Вместе с тем нельзя считать утратившим значение и способ визуальный. В следующем параграфе будет подробно рассказано о способах оценок блеска звезд, которые выполняются дифференциальным методом, т. е. путем сравнения с блеском окрестных звезд. Эти наблюдения достаточно точны, но требуют знания звездных величин звезд сравнения. Эти же данные приходится брать из каталогов, а в случае отсутствия таких данных — определять самим, что выполняется при помощи фотометра. Опытный любитель астрономии может изготовить визуальный фотометр и сам; однако для его использования необходимо иметь телескоп с часовым механизмом.

Визуальные фотометры делятся на два типа: *звездные* и *поверхностные*.

а) Звездный фотометр с искусственной звездой сравнения. Фотометр состоит из двух объединенных оптических систем, создающих изображения естественной и искусственной звезд в главной фокальной плоскости телескопа. Наиболее простым является *фотометр Граффа*. Он состоит из небольшой трубки (рис. 123), в которой располагаются небольшая лампочка *Л*, фотометрический клин *К*, непрозрачный экран *э*, в котором сделано «точечное» отверстие — искусственная звезда *з*. Затем следует линза A_1, установленная таким образом, что точка *э* находится в ее главном фокусе и из A_1 выходит параллельный пучок лучей. Этот пучок поступает затем в линзу A_2, которая создает изображение искусственной звезды в главном фокусе телескопа после отражения в плоскопараллельной прозрачной пластинке, поставленной на пути лучей под углом 45°. При этом,

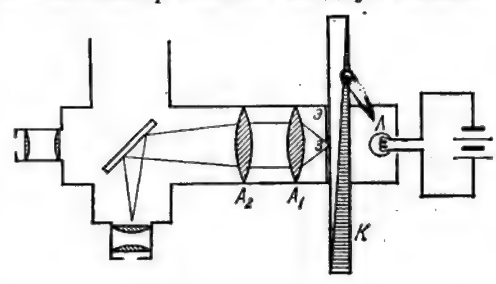


Рис. 123. Схема визуального фотометра Граффа.

конечно, значительная часть света искусственной звезды теряется, но это не так важно.

Оба изображения — естественной и искусственной звезд — рассматриваются в положительный окуляр.

Для изменения блеска искусственной звезды служит фотометрический клин K. Он укрепляется внутри специальной рамки, скользящей в продольном направлении в направляющих и передвигаемой кремальерой. Тут же находится разделенная шкала, которая позволяет измерять, насколько вдвинут клин.

Настоящий фотометрический клин, изготовленный из нейтрального стекла, достать очень трудно. Удовлетворительный клин можно сделать из обычной фотографической пластинки путем изготовления контактного отпечатка клина, взятого из сенситометра. Он не нейтрален и поглощает лучи различных длин волн по-разному, но с этим можно мириться. Калибровку клина можно сделать по наблюдениям звезд, у которых звездные величины уже известны. Только при этом придется учитывать поглощение света в земной атмосфере — экстинкцию (см. § 5, гл. III). Затем следует помнить, что накал лампочки надо контролировать электроизмерительным прибором. Далее, может оказаться, что звезды естественные и искусственная будут существенно отличаться по цвету. Тогда надо подобрать нужный светофильтр и ввести его в систему, создающую изображение искусственной звезды.

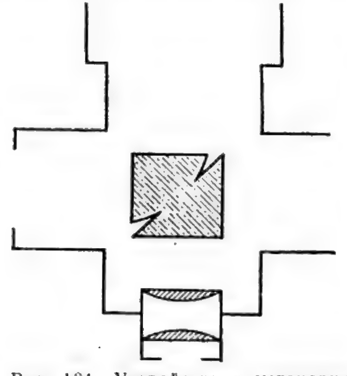


Рис. 124. Устройство и установка кубика Люммера—Бродхуна в поверхностном фотометре.

Существуют также фотометры с естественной звездой сравнения, но они устроены сложнее и мы описывать их не будем.

б) Ф о т о м е т р ы д л я и з м е р е н и я я р к о с т и п р о т я ж е н н ы х о б ъ е к т о в. В этих фотометрах создается небольшая равномерно освещенная искусственным источником света площадка, которая приводится в соприкосновение с изображением протяженного небесного объекта. Обе площадки обладают некоторым контрастом. Яркость изображения искусственной площадки изменяется по желанию наблюдателя в известное число раз до тех пор, пока граница, отделяющая ее от изображения небесного тела, не исчезнет. Это положение соответствует равенству яркостей.

Самое трудное при изготовлении такого фотометра — создание искусственной светящейся площадки переменной яркости. Для этого применяют кубик Люммера — Бродхуна, состоящий из сложенных вместе призм полного внутреннего отражения (рис. 124) из которых одна соответствующим образом сошлифована. За

подробностями отсылаем к руководствам по практической астрофизике.

Гораздо проще изготовить искусственную шкалу яркостей и применять ее при оценке яркости протяженных объектов.

Для этого надо использовать оптическую схему фотометра Граффа, но вместо клина и дифрагмы с искусственной звездой установить матовое стекло, освещаемое напросвет лампочкой. Сразу же после матового стекла нужно установить «фотометрическую шкалу», которую можно приготовить так. Засвечиваем равномерным светом обычную фотографическую пленку, но не очень сильно. Затем разрезаем ее на полоски и накладываем их «лесенкой», как это показано на рис. 125. Мы получим ступенчатый клин. Его можно еще раз отпечатать на пластинке, и на

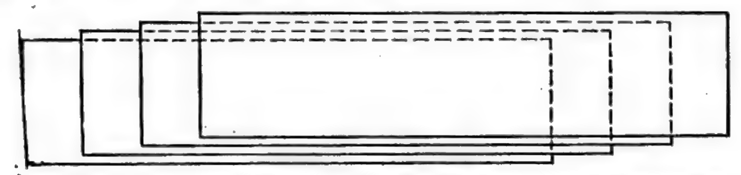


Рис. 125. Устройство ступенчатого клина для визуального фотометра.

ней получится полоска шкалы почернений. Такой ослабитель, будучи помещенным вместо звезды сравнения в фотометр Граффа, даст возможность увидеть одновременно и яркую полоску, состоящую из квадратиков, имеющих убывающие яркости, и небесное светило, в одном поле зрения. Яркость диффузного светила, кометы или метеорного следа можно оценивать в долях интервала этой шкалы.

Для обработки наблюдений надо шкалу исследовать. Это можно сделать, наблюдая экстрафокальное изображение какой-либо яркой звезды. Выводим изображение звезды из фокуса до тех пор, пока его падающая яркость не сравняется с яркостью самой яркой ступеньки шкалы. Затем выдвигаем окуляр еще больше, пока яркость диска не сравняется с яркостью следующей площадки и т. д. Теперь, если измерить диаметры внефокальных дисков, можно вычислить и яркости: они будут обратно пропорциональны квадратам диаметров. Для измерения диаметров можно воспользоваться суточным движением небесной сферы. Для этого надо пронаблюдать, в течение какого времени экстрафокальный диск звезды будет заходить за край поля зрения окуляра; допустим, что это произошло за τ_1 секунд. Тогда диаметр диска будет равен

$$d_1 = 15''\tau_1 \cdot \cos\delta.$$

Если нужно абсолютизировать эти оценки, то надо пронаблюдать еще какой-либо объект с известной яркостью, например, какую-либо из туманностей.

Описанный поверхностный «шкальный» фотометр может дать возможность исследовать закон падения яркости метеорных следов, которые бывают видны в телескоп еще несколько минут после полета метеора.

§ 17. Глазомерные оценки блеска звезд

Мы уже упоминали, что в практике астронома-любителя находят широкое применение глазомерные дифференциальные оценки блеска. Они производятся как визуально, при наблюдениях неба в бинокль или телескоп, так и на фотографических снимках.

а) Методы оценок. Старейший из методов, способ Аргеландера, состоит в следующем. Определяя блеск звезды, обозначаемой буквой v, подбираем подходящую звезду сравнения, скажем, a. Внимательно вглядываемся поочередно в обе звезды, сравнивая их блески. Если блеск звезды a кажется нам равным блеску звезды v, то мы пишем $a = v$. Если после длительного сравнения блеск a кажется нам чуть-чуть бóльшим, чем блеск звезды v, то мы говорим, что блеск a на одну степень светлее блеска v и пишем $a1v$. Если блеск звезды a кажется нам уверенно большим блеска звезды v, то мы говорим, что блеск a на две степени больше блеска v и пишем $a2v$. Постепенно у наблюдателя вырабатывается величина степени, так что он может оценить большие разности, как $a3v$, $a4v$. При разностях блеска, бóльших 4-х степеней, надо переходить к другой звезде сравнения. При оценке блеска обычно употребляется не одна звезда сравнения, а несколько, желательно близких, с возможно меньшими разностями блесков.

Другой, более уверенный способ был предложен Пикерингом. Этот способ чисто интерполяционный. Выбирают две звезды сравнения так, чтобы одна была ярче определяемой, а другая слабее. Обозначим более яркую звезду буквой a, определяемую v, и более слабую b. Делим интервал блесков a и b на 10 частей. Оцениваем разность блесков a и v в долях интервала $[a, b]$. Так появляются оценки $a5v5b$, $a1v9b$, $a8v2b$ и т. д. Обозначение более яркой звезды всегда пишется первым. Конечно, этот метод точнее способа Аргеландера, но, как мы увидим далее, для обработки необходимо знать звездные величины звезд сравнения, которые не всегда известны.

С. Н. Блажко и А. А. Нейланд предложили другой метод, который сочетает положительные стороны способов Аргеландера и Пикеринга. При наблюдениях используют две звезды сравнения, как в способе Пикеринга, но делят интервал блесков звезд сравнения не на 10 частей, а на такое их количество, которое равно числу степеней, которое оценивает наблюдатель — так, как это было принято в способе Аргеландера. Точнее поступают так: сравнивают разность блесков a и v по методу Аргеландера, а затем оценивают, каков интервал между v и b по сравнению с интервалом

между a и v. Допустим, для определенности, что интервал a и v был равен трем степеням; сравнивая интервалы a, v и v, b, оценивают последний, скажем, в два раза бо́льшим. Тогда интервал v и b должен быть равен шести степеням, и оценка запишется так: $a3v6b$.

б) В ы ч и с л е н и е б л е с к а. Сначала покажем, как вычислять блеск по способу Пикеринга. Пусть оценка имела вид $apvnb$, и звездные величины звезд сравнения равны m_a и m_b. При этом $p + n = 10$. Тогда, выполняя простое интерполирование, найдем

$$m_v = m_a + \frac{m_b - m_a}{10} p.$$

Звездные величины надо взять из каталога или определить при помощи фотометра.

При использовании способа Нейланда—Блажко (так же, как Аргеландера) знание звездных величин звезд сравнения не обязательно, так как можно и нужно построить собственную шкалу блеска. Для этого из всех оценок вычисляются разности вида $b—a$, $c—b$, $d—c$ и т. д. и образуется среднее значение каждой из разностей. Приняв блеск самой яркой звезды за нуль, получают общую шкалу, как показано в следующем примере.

Пусть, например, при осреднении получено: $b - a = 5{,}8$; $c - b = 3{,}4$; $d - c = 6{,}2$. Приняв, что блеск $a = 0{,}0$, находим последовательно $b = 5{,}8$, $c = 9{,}2$, $d = 15{,}4$.

Получив шкалу блеска звезд сравнения, вычисляют оценки, производят интерполирование. Допустим, что оценка имеет вид: $apvqb$. Из степенной шкалы имеем разность блесков $b - a$, а из данной оценки этот же интервал равен $p + q$. Тогда блеск переменной звезды v, который мы оценивали, вычисляется по формуле

$$v = a + \frac{b - a}{p + q} p.$$

Поясним это примером. Оценка $c3v2d$ вычисляется в приведенной выше шкале так: $v = 9{,}2 + \frac{15{,}4 - 9{,}2}{5} \cdot 3 = 12{,}9$.

При этих вычислениях большую пользу приносит логарифмическая линейка.

в) У р а в н и в а н и е ш к а л. Если для ряда звезд сравнения известны звездные величины, то можно «привязать» к ним степенну́ю шкалу, установив, чему равна величина степени s, и перевести блеск наблюдавшейся звезды в звездные величины. Делается это так. Считая, что зависимость между степенно́й шкалой и шкалой звездных величин линейная, пишем для каждой звезды уравнение

$$m_k = m_0 + sp_k,$$

в котором m_0 (нуль-пункт звездных величин) и s (величина степени) — неизвестные, подлежащие определению. Система n уравнений решается по способу наименьших квадратов, определяются m_0 и s, после чего они подставляются в исходное уравнение

$$m = m_0 + p \cdot s$$

и по величинам p_k вычисляются для каждой звезды «исправленные» значения звездных величин звезд сравнения.

Пример. Для группы звезд сравнения получена степенная шкала блесков p. Некоторые из звезд сравнения имеют каталожные звездные величины $m_{\text{кат}}$. Приводим их в следующей таблице:

Звезда	p	$m_{\text{кат}}$	Уравнение	$m_{\text{выч}}$	Разность
a	0,0	—	—	7,62	—
b	5,7	8,17	$m_0 + 5{,}7s = 8{,}17$	8,13	−0,005
c	8,3	8,33	$m_0 + 8{,}3s = 8{,}33$	8,32	−0,01
d	11,1	8,54	$m_0 + 11{,}3s = 8{,}54$	8,52	−0,02
e	15,6	8,72	$m_0 + 15{,}6s = 8{,}72$	8,84	+0,12
f	20,3	—	—	9,18	—
g	27,2	9,73	$m_0 + 27{,}2s = 9{,}73$	9,68	−0,05

Нормальные уравнения имеют вид

$$5m_0 + 69{,}9s = 43{,}49,$$

$$69{,}9m_0 + 1207{,}79s = 611{,}19.$$

Их решение таково:

$$m_0 = 7{,}72, \; s = 0{,}0721.$$

Формула для вычисления «исправленных» звездных величин по данным степенной шкалы:

$$m = 7{,}72 + 0{,}0721p.$$

По ней вычислены звездные величины $m_{\text{выч}}$.

Более подробное описание способов обработки наблюдений и тех систематических ошибок, которыми эти наблюдения отягощены, можно найти в следующих книгах: Цесевич В. П. «Переменные звезды и их наблюдения» (М.: Наука, 1980) и «Методы исследования переменных звезд» (М.: Наука, 1971).

г) Оценка блеска очень ярких объектов. Может оказаться, что надо определить блеск такого объекта, который ярче всех звезд сравнения, например, определить блеск Венеры, Юпитера или полной Луны. Как поступить в этом случае?

Один из способов состоит в наблюдении светила при помощи перевернутого бинокля или телескопа. Если направить оптический прибор окуляром вперед, а объективом к наблюдателю, то мы увидим звездоподобное ослабленное изображение объекта, даже Луны. Мы оцениваем тогда блеск этого изображения по

сравнению с блеском соседних звезд, рассматриваемых невооруженным глазом. Для вычислений нам надо знать, насколько ослабляет блеск светила перевернутый инструмент. Для этого надо пронаблюдать также блеск какой-либо яркой звезды, для которой известна звездная величина, например, Веги. Таким образом, мы определим ту «поправку», которую надо придать к вычисленному обычным путем блеску.

Второй способ связан с изготовлением простого прибора — «*шарикового фотометра*» (рис. 126). На планке длиной 1—2 м укрепляется поперечная перекладина, на которой устанавливаются несколько блестящих шариков различных размеров (вполне пригодны шарики из подшипников). На втором конце устанавливается диоптр D. Поместив прибор на простой подставке, располагаем его таким образом, чтобы шарики были видны сквозь диоптр на фоне полярной области звездного неба. От каждого шарика мы увидим отраженное, звездообразное, ослабленное изображение Луны. Наблюдение состоит в сравнении при помощи любого метода блеска этих изображений с блесками окрестных звезд. Особенно полезен этот простой прибор при наблюдениях общего блеска Луны во время лунных затмений. Для этого и берется несколько различных шариков, так как во время полного затмения Луны амплитуда колебаний общего блеска очень велика.

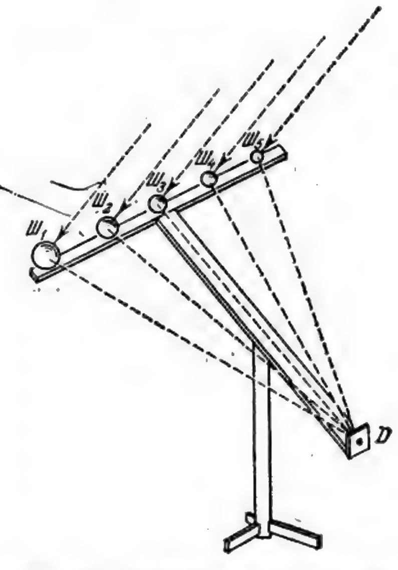


Рис. 126. Устройство шарикового фотометра. $Ш_1$, $Ш_2$, ..., $Ш_5$ — блестящие шарики, D — диоптр.

Хотя ослабление изображений можно вычислить по формуле

$$C = -2{,}5 \lg \frac{\rho R^2}{\Delta^2},$$

где ρ — коэффициент отражения поверхности шарика, R — его радиус, а Δ — расстояние шарика от глаза наблюдателя, «фотометр» приходится еще градуировать по наблюдениям отражений блеска от очень ярких объектов. При наблюдениях с несколькими шариками ряды оценок надо связывать между собой повторными измерениями различных изображений.

Можно вместо визуальных наблюдений производить фотографические. Тогда вместо диоптра на нижнем конце продольного шеста помещают фотоаппарат и с его помощью снимают «лунные изображения» совместно с фоном полярной области неба.

Вполне естественно, что при этих наблюдениях надо учитывать атмосферную экстинкцию, для чего необходимо попутно определять коэффициент атмосферной прозрачности по звездам.

§ 18. Основы фотографической фотометрии небесных светил

О яркости или блеске небесного светила можно судить по почернению его изображения, получающегося на фотографическом снимке. Мерой служит оптическая плотность изображения. Для ее определения рассматривают снимок в проходящем свете. Тогда, если F_0 — интенсивность излучения, упавшего на негатив, а F — интенсивность прошедшего сквозь него излучения, оптическая плотность определяется формулой

$$D = \lg \frac{F_0}{F}.$$

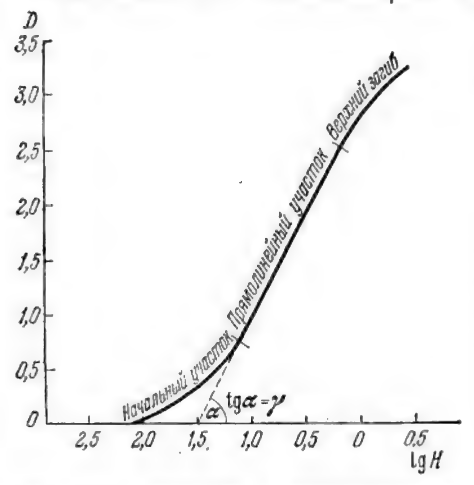


Рис. 127. Построение характеристической кривой.

Фотографический процесс обладает рядом особенностей. Пусть при экспонировании пластинки на нее упало количество света, равное H. После проявления и фиксирования мы получаем снимок, на котором образовалось изображение, имеющее почернение D. Если на снимке получены изображения нескольких объектов, характеризующихся различными значениями H, то эти изображения будут иметь различные почернения D. Откладывая эти величины на графике, как показано на рис. 127, мы получим *характеристическую кривую* данной фотопластинки. На ней можно выделить три участка. Левый нижний, искривленный участок, соответствует таким изображениям, плотность которых мала; это область недодержек. Правый, верхний участок соответствует очень большим плотностям, изображения передержаны; этот участок также искривлен. Средняя часть прямолинейна. Это область нормально выдержанных изображений. Продолжая этот прямолинейный участок вниз, до пересечения с осью $\lg H$, мы получим угол наклона α. Величина $\gamma = \operatorname{tg} \alpha$ называется *градиентом плотности* или *коэффициентом контрастности* эмульсии. Это одна из основных характеристик фотографической эмульсии. Если коэффициент контрастности велик, то это означает, что характеристическая кривая идет круто и малому изменению интенсивности излучения соответствует большое измене-

ние плотности почернения; такие эмульсии наиболее пригодны для фотометрических целей.

Вторая величина характеризует чувствительность эмульсии. Это величина H_i, при которой продолжение прямолинейной части характеристической кривой пересекает горизонтальную ось. Чем левее расположена эта точка, тем чувствительнее данная эмульсия. При получении большинства астрономических снимков надо использовать фотоматериалы возможно большей чувствительности.

Третье свойство фотографической эмульсии связано с влиянием увеличения экспозиции на повышение плотности изображения. К. Шварцшильд открыл одно важное явление. Допустим, что мы будем фотографировать объекты, обладающие различной интенсивностью излучения, с различными экспозициями, и будем добиваться такого результата, чтобы плотность изображений была одинаковой. Тогда должно быть справедливым уравнение

$$Et^p = \text{постоянной},$$

где E — освещенность, t — время экспозиции, а p — *коэффициент Шварцшильда*, который меньше единицы. Чаще всего он равен 0,8—0,9. Это означает, что для повышения проницающей способности снимка на одну звездную величину нужно увеличить экспозицию не в 2,512 раза, а примерно в три и более раз.

Особое значение этот закон Шварцшильда имеет для фотометрии метеоров. Метеорные изображения получаются с малыми экспозициями, так как метеор летит очень быстро и все явление длится доли секунды. Сравнивая почернение метеорного изображения с почернениями изображений звезд, можно судить о блеске метеора. Если снимок получен неподвижной камерой, то изображения звезд — длинные дуги, вытянутые вдоль суточных параллелей. Измерив почернения и зная звездные величины звезд, можно построить характеристическую кривую снимка. Однако тут мы должны учитывать закон Шварцшильда, так как изображения метеора и звезды получены при разных экспозициях. Для применения закона Шварцшильда надо знать угловую скорость движения метеора и заранее определить опытным путем коэффициент p.

Фотометрическое изучение негатива, на котором получены изображения протяженных объектов или метеора, требует применения специальных приборов, измеряющих почернения — *микрофотометров*. Если метеорный снимок калибруется по звездным изображениям, то для калибровки других снимков надо заранее получать на них калибровочные шкалы. Для этого на пластинке получают изображения нескольких источников света, у которых известны яркости; по получившимся почернениям строят характеристическую кривую.

Гораздо доступнее для любителя астрономии получение и изучение снимков звездных полей, производимых при помощи широкоугольных астрографов.

На таком снимке обычно получаются изображения нескольких переменных звезд. Самые простые оценки фотографического блеска по любому из методов дают возможность исследовать эти переменные звезды, если серия снимков достаточно велика. При этом наблюдатель получит и степенные шкалы блеска звезд сравнения. Если же он захочет перевести степени в звездные величины, то ему придется определить звездные величины звезд сравнения. Тут мы и встретимся с основной задачей фотометрического изучения звездных снимков — с определением звездных величин звезд по почернениям их изображений.

При решении этой задачи наблюдателю придется прибегнуть к помощи микрофотометра, с помощью которого он должен определить общий фотографический эффект — полное почернение всего изображения звезды.

На хорошем звездном снимке изображение звезды имеет вид небольшого кружка. Чем ярче звезда, тем больше диаметр этого кружка и тем больше его почернение. Фотографический блеск звезды до некоторой степени характеризуется диаметром этого кружка. Поэтому, не располагая микрофотометром, но имея в своем распоряжении микроскоп-микрометр, наблюдатель может заменить фотометрирование измерением диаметров звездных изображений.

Однако наблюдатель, умеющий хорошо оценивать «блеск» методом Пикеринга или Нейланда—Блажко, может изготовить искусственную шкалу и обойтись без других приборов.

Для получения шкалки наводим астрограф на какую-либо яркую звезду и получаем снимок с очень короткой экспозицией. Затем перемещаем камеру на небольшой угол, изменив склонение, и снова получаем снимок той же звезды, но с вдвое большей экспозицией. Еще раз передвигаем камеру по склонению и получаем новый снимок, снова удвоив последнюю экспозицию и т. д.

В результате мы получаем на снимке «цепочку» из 6—8 изображений яркой звезды, причем фотографический эффект вдоль этой цепочки будет увеличиваться. После проявления, фиксирования, промывки и высушивания снимка берем лист черной бумаги и и вырезаем в нем «окно». Покрываем этот лист бумаги тонким слоем клея и наклеиваем на желатиновый слой снимка так, чтобы в окно была видна шкалка и небольшая соседняя с ней область.

Теперь мы можем накладывать шкалу на изучаемый снимок звездного неба, складывая их желатинными слоями вместе. Защитный слой бумаги предохранит изучаемую пластинку от царапин. Изготовленная таким способом шкалка позволит «переносить» информацию о звездах с одного места пластинки на другое и с одной пластинки на другую.

Для любых фотометрических исследований надо прежде всего изучить ошибку поля камеры. Напоминаем, что при снимках, получаемых широкоугольными камерами, существенное значение имеет виньетирование. На краях поля зрения изображения звезд

ослаблены. Было предложено много способов изучения ошибки поля, но наилучший из них состоит в получении снимка большого по протяженности стандарта *). Тогда, построив характеристическую кривую пластинки по звездам, снятым в центре поля, определяют по ней звездные величины «краевых» звезд и определяют разности между полученными величинами и теми, которые приведены в стандарте. Величину получившихся отклонений изучают в зависимости от расстояния от центра снимка.

Как это сделать при помощи шкалки?

Для этого совмещают шкалку с центральной частью снимка. Затем оценивают каждую из «звездочек» шкалки, сравнивая с теми звездами стандарта, для которых известны звездные величины. Вычислив эти оценки, мы узнаем звездную величину каждого из изображений шкалки для этой пластинки.

После этого можно определить звездные величины любой из звезд, изображения которых имеются на данном снимке. Определяя звездные величины звезд, входящих в стандарт, мы можем изучить ошибку поля.

Это также позволит определить звездные величины нужных нам звезд; при этом мы уже сможем оценить и ошибку поля и за счет нее исправить полученные данные.

Так определяются звездные величины, если на данном снимке получились изображения звезд, входящих в стандарт.

К сожалению, стандарты разбросаны по небесной сфере не очень плотно и может случиться, что в нужной нам области неба нет стандарта. Тогда делают два независимых снимка с одинаковой экспозицией в такие моменты, когда зенитные расстояния звезд, служащих для гидирования, близки друг к другу. При этом пластинка разрезается на две половины или берутся две пластинки из одной коробки. Проявляются они вместе, чтобы оба снимка были поставлены в одинаковые условия. Тогда мы можем калибровать шкалку по изображениям звезд стандарта, вышедших на одном снимке, и считать, что эта калибровка такая же для второго снимка, на котором мы будем определять звездные величины нужных нам звезд.

При получении снимков необходимо учитывать состояние неба. Снимки только тогда годятся для фотометрических работ, если небо вполне ясное и прозрачность хороша. Кроме того, необходимо учитывать атмосферную экстинкцию.

В заключение заметим, что у каждого наблюдателя своя собственная система звездных величин, даже в том случае, если он привязывает ее к надежному стандарту. Это вызвано различной прозрачностью объектива и разной чувствительностью фотографической эмульсии к излучениям различных длин волн. Поэтому, стандартизуя шкалку, надо использовать белые звезды с малыми показателями цвета. Определив затем звездные величины красных

*) В качестве стандарта рекомендуются Гиады или Волосы Вероники.

звезд и составив разности с каталожными звездными величинами δ, надо сравнить их с показателями цвета C. Из формулы $\delta = cC$ можно определить параметр цветности системы наблюдателя c и эффективную длину волны, к которой отнесены определяемые им фотографические звездные величины.

Укажем еще на то, что коллекция хороших фотографических снимков позволяет отыскивать по ним новые переменные звезды и обнаруживать вспышки новых звезд сравнением снимков. Для этого созданы специальные приборы — *стереокомпараторы* и *блинк-микроскопы*, которых в распоряжении любителя нет. Но есть один способ, который позволяет выполнять сравнение без каких-либо сложных приборов.

Для этого приготовляют на диапозитивной пластинке отпечаток (позитив) какого-либо из хороших снимков. На нем фон получается темным, а изображения звезд — прозрачными кружками. Складывая слоем к слою позитив и более поздний снимок звездного неба так, чтобы изображения совпали, мы производим их осмотр при помощи лупы. Если не произошло никаких изменений, то прозрачные кружки совпадут с черными изображениями звезд и сложенные снимки будут выглядеть равномерным серым фоном. Если какая-либо звезда ослабла, то мы увидим светлое кольцо, с черной точкой внутри. Если же вспыхнула новая звезда, или какая-нибудь звезда усилила свой блеск, то на сером фоне будет видна черная точка. Очень большое количество переменных звезд открыто именно этим способом.

§ 19. Фотоэлектрические методы исследования звезд

Одним из современных методов исследования небесных объектов является фотоэлектрическая фотометрия. В отличие от визуальной и фотографической фотометрии, фотоэлектрическая фотометрия благодаря использованию современной электронной аппаратуры и тщательному учету всех поправок может достигать точности $0^m,005$. Большая проницающая способность электрофотометрии, высокая точность, возможность измерения световых потоков в различных участках спектра позволяют решать многие важные астрофизические задачи. Все больше и больше электрофотометрия проникает и в другую область астрофизических исследований — спектрофотометрию. Большую роль сыграл электрофотометрический метод и в измерении поляризации света небесных объектов.

В принципе фотоэлектрического измерения блеска лежит преобразование светового потока от небесного объекта в электрический сигнал, который усиливается в миллионы раз и измеряется электронной аппаратурой.

Преобразование световой энергии в электрическую осуществляется с помощью фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) для области спектра от ультрафиолета до ближней инфракрасной

области, фотосопротивлений или болометров для инфракрасной области спектра.

а) Фотоэлектронные умножители. Фотоумножители (ФЭУ) сочетают в себе свойства фотоэлемента и электронного усилителя сигнала и позволяют получать на выходе сигнал, уже усиленный в $10^6 \div 10^8$ раз. Усиление фототока с фотокатода ФЭУ достигается благодаря использованию явления вторичной электронной эмиссии с промежуточных между катодом и анодом эмиттеров. Современные фотоумножители имеют до 14 каскадов умножения. Основными характеристиками фотоумножителей являются область спектральной чувствительности, чувствительность фотокатода в мкА/лм, анодная чувствительность в А/лм при определенном напряжении питания ФЭУ, темновой ток в А, соответствующий этому же напряжению питания, диаметр фотокатода в мм.

Область спектральной чувствительности и чувствительность фотокатода зависят от материала, из которого он изготовлен. Наибольшей чувствительностью обладают мультищелочные фотокатоды, затем сурьмяно-цезиевые и более низкой — кислородно-цезиевые. Область спектральной чувствительности для этих трех основных типов фотокатодов следующая: для кислородно-цезиевых от 4000 до 12 000 Å, мультищелочных — от 3000 до 8200 Å, сурьмяно-цезиевых — до 6500 Å. Большая чувствительность фотокатодов и большой коэффициент усиления позволяют измерять с помощью фотоумножителей световые потоки порядка $10^{-14} \div$ $\div 10^{-16}$ лм. Предел измерения слабых световых потоков определяется уровнем темнового тока ФЭУ, который может быть существенно уменьшен путем охлаждения фотокатода ФЭУ, особенно для мультищелочных и кислородно-цезиевых фотокатодов.

Большим достоинством фотоумножителей является пропорциональность изменения фототока на его выходе в зависимости от величины падающего светового потока на фотокатод, т. е. фотоумножитель является линейным усилителем, в отличие от фотографической эмульсии. Разность звездных величин двух звезд m_1 и m_2, которые вызывают появление фототоков i_1 и i_2 при величине темнового тока $i_т$, равна

$$\Delta m = m_2 - m_1 = -2{,}5 \lg \frac{i_2 - i_т}{i_1 - i_т}. \qquad (4.9)$$

При конструировании фотометра необходимо учитывать следующие особенности работы с фотоумножителями, вытекающие из их свойств. Монтаж фотоумножителя должен производиться на панели из хорошего изолятора (полистирол, фторопласт и др.) для устранения утечек по панели; колба фотоумножителя и панелька с делителем, а также поддерживающие кольца должны быть тщательно очищены. Блок, где монтируется фотоумножитель с панелькой делителя напряжения, должен быть светонепроницаемым и герметичным для предотвращения попадания влаги из воздуха, снабжен сменными патронами осушки. Для защиты фото-

умножителя от воздействия внешних магнитных полей, в том числе и от магнитного поля Земли, блок фотоумножителя необходимо помещать в магнитный экран из мягкого железа. В случае применения охлаждения ФЭУ необходимо предусмотреть термостатирование фотоумножителя с точностью около 1 °C, так как многие типы фотокатодов изменяют свою спектральную чувствительность с изменением температуры. Это наиболее удобно выполнить для фреонных или термоэлектрических холодильников, процесс охлаждения в которых может регулироваться. Менее удачными в этом отношении являются холодильники с использованием твердой углекислоты, где температура в холодильной камере зависит от времени, прошедшего с начала загрузки углекислоты и от величины начального количества «сухого льда».

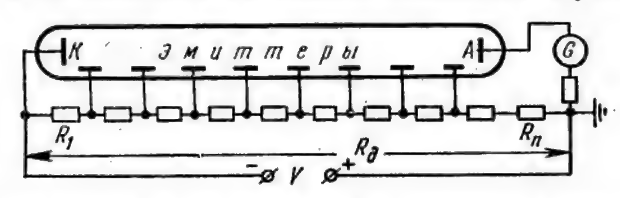


Рис. 128. Схема делителя напряжения питания фотоумножителя и подключения измерительного прибора.

Наилучшими образцами современных отечественных фотоумножителей для звездной фотометрии являются следующие, мультищелочные ФЭУ-79, ФЭУ-69Б, квантакон ФЭУ-130; сурьмяно-цезиевые ФЭУ-64, кислородно-цезиевые ФЭУ-83, ФЭУ-90: ФЭУ-62 и др.

Питание фотоумножителей может осуществляться от любого высоковольтного источника со стабильным напряжением. В простейшем случае ФЭУ можно питать непосредственно от анодных батарей, соединенных последовательно для получения необходимого паспортного или выбранного оптимального значения напряжения питания ФЭУ.

Напряжение питания фотоумножителя подается на делитель напряжения, который служит для сообщения каждому последующему эмиттеру более высокого потенциала, чем имеет предыдущий. Схема делителя напряжения и подключения к ФЭУ регистрирующего прибора показана на рис. 128. Так как в астрофотометрии чаще всего приходится иметь дело со слабыми световыми потоками, то общее сопротивление делителя напряжения подбирается таким, чтобы обеспечить наиболее экономичный расход электроэнергии от высоковольтного источника, что наиболее существенно при питании от батарей. Для звездной электрофотометрии общее сопротивление делителя напряжения выбирается порядка 3 МОм. Делитель напряжения напаивается обычно на панельке ФЭУ и может быть выполнен из резисторов типа МЛТ мощностью не менее 1 Вт. Панельки ФЭУ чаще всего приходится

изготовлять на месте, варианты конструкции их могут быть самые различные, но при этом необходимо, чтобы контактные лепестки панельки как можно большей поверхностью прилегали к штырькам ФЭУ для обеспечения надежного контакта.

В заключение надо напомнить, что при работе с фотоумножителями, батареями, выпрямителями необходимо соблюдать крайнюю осторожность во избежание поражения электрическим током высокого напряжения. Комплект батарей питания ФЭУ должен быть экранирован и иметь хорошую изоляцию во избежание помех от токов утечек.

б) Электрометрические усилители фототока. Большая чувствительность и усиление, даваемые фотоумножителями, оказываются все же недостаточными, чтобы регистрировать фототоки от слабых звезд непосредственно гальванометром. Кроме этого, при применении самопишущего прибора необходимо устройство для согласования выхода фотоумножителя

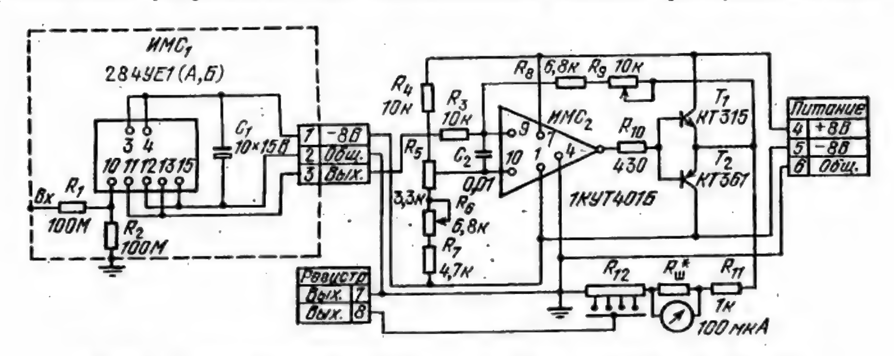


Рис. 129. Схема электрометрического усилителя с истоковым повторителем.

со входом самопишущего устройства. Для этой цели используются электрометрические усилители, имеющие большое входное сопротивление (порядка десятков и сотен мегом) и малое выходное сопротивление (сотни ом), которые позволяют усиливать токи величиной в $10^{-12} \div 10^{-14}$ А. Существует несколько методов усиления и регистрации фототока: усилители сигналов постоянного тока, усилители переменного тока, счетчики фотоэлектронов. Исследования, проведенные различными авторами, показали, что все эти методы дают примерно одинаковый эффект. Наиболее простым является метод усиления сигналов постоянного тока. Усиление фототока осуществляется здесь с помощью электрометрических усилителей постоянного тока (ЭУПТ), первый каскад которых может быть выполнен на специальных электрометрических лампах, на обычных радиолампах, поставленных в электрометрический режим или на полупроводниковых элементах. На рис. 129 приведена схема ЭУПТ на интегральной микросхеме 284УЕ1 (А, Б). Резистор R_6 служит для грубой, а R_5 — для тон-

кой установки нуля; емкость C_2 — для увеличения устойчивости и постоянной времени схемы. Резистором R_9 регулируется глубина отрицательной обратной связи или коэффициент усиления операционного усилителя 1КУТ401Б. Потенциометр R_{12} имеет порядка 10 фиксированных положений и является переключателем диапазонов чувствительности самопишущего прибора и в случае использования самопишущего потенциометра ЭПП-09 общее сопротивление R_{12} не превышает 200 Ом. Величину $R_ш$ подбирают экспериментально. Самопишущий прибор подсоединяют к гнездам выхода *7*, *8*. Питание схемы осуществляют от любого стабилизированного источника тока со средней точкой.

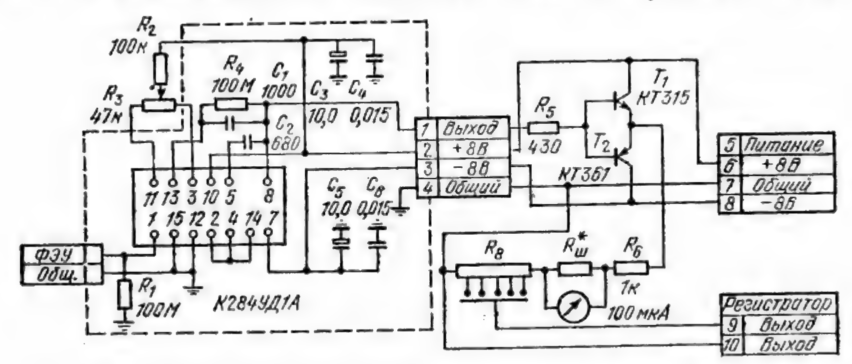


Рис. 130. Схема электрометрического усилителя с операционным усилителем.

Для этого можно использовать батареи или аккумулятор. На рис. 130 приведена более компактная схема ЭУПТ на микросхеме К284УД1. Она более устойчива в работе и имеет меньший дрейф нуля. Установка нуля производится резистором R_3, емкость C_1 определяет постоянную интегрирования. Для увеличения чувствительности схемы можно увеличивать сопротивление резистора R_1 до 1 ГОм, соответственно увеличивая сопротивление резистора обратной связи R_4. Усилитель мощности и блок питания аналогичны схеме рис. 129. Часть схемы, обведенная прерывистой линией, собирается непосредственно в блоке ФЭУ.

На рис. 131 приведена схема для счета одноэлектронных импульсов, которая позволяет измерять предельно слабые световые потоки на уровне счета отдельных фотоэлектронов. В качестве широкополосного усилителя и дискриминатора используется интегральная микросхема К138ЛП1, которая содержит в одном корпусе четыре дифференциальных усилителя. Токовую нагрузку ФЭУ $R_н$ выбирают от 100 Ом до 3 КОм, диоды D_1, D_2 ограничивают сигнал на входе усилителя, а уровень дискриминации устанавливается резистором R_8. В качестве счетчика импульсов используется частотомер типа Ч3-32 или Ч3-34.

При изготовлении схем электрометрических усилителей следует соблюдать все правила, предусмотренные при работе с мик-

росхемами серии К284, в противном случае их легко вывести из строя во время монтажа и пайки. Все три схемы разработаны и испытаны на Одесской астрономической обсерватории В. Н. Ивановым.

При конструировании фотометра и монтаже ЭУПТ необходимо электрометрический каскад располагать в непосредственной близости от ФЭУ, чтобы устранить наводки на провод, соединяющий выход ФЭУ со входом ЭУПТ. Электрометрический каскад должен быть тщательно экранирован и помещен в светонепроницаемый корпус. Благодаря малому количеству деталей ЭУПТ могут быть смонтированы непосредственно в блоке ФЭУ. Для предотвращения

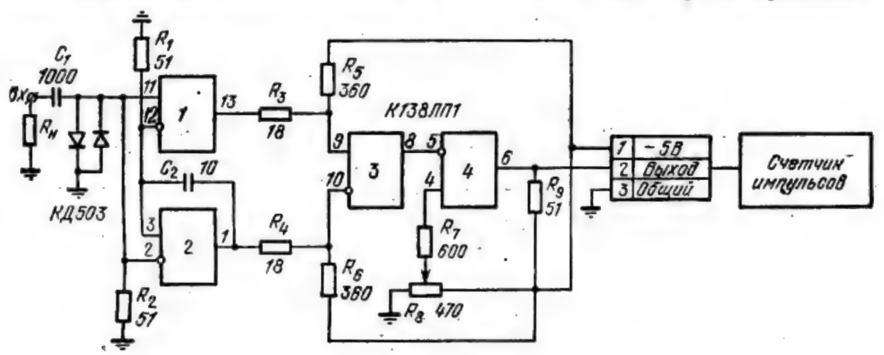


Рис. 131. Схема счета одноэлектронных импульсов.

возникновения токов утечки все детали ЭУПТ, особенно электрометрического каскада, должны быть тщательно обезжирены; монтаж необходимо производить на стойках из высококачественного изолятора.

Для подавления флуктуаций, вызываемых шумами ФЭУ и мерцаниями звезды, постоянную времени усилителя целесообразно делать не менее 10 с; при этом не имеет существенного значения, какой элемент схемы будет ее создавать: входная цепь, промежуточные каскады или регистрирующий прибор. В современных фотометрах для более точного осреднения флуктуаций фототока, вызванных шумами ФЭУ и мерцанием звезды, все чаще применяют интегрирующие ячейки и операционные усилители, что повышает точность наблюдений и позволяет наблюдать более слабые звезды. Регистрация усиленного фототока производится с помощью самопишущих потенциометров типа ЭПП-09, цифровых вольтметров, преобразователей типа аналог—код для ввода данных в ЭВМ.

Фотоэлектрический фотометр. Оптическая схема фотоэлектрического фотометра приведена на рис. 132. Перед фокальной плоскостью телескопа ставится откидное зеркало поля *3*, которое предназначено для поиска, отождествления и точного наведения телескопа на исследуемый объект. Для этого

в окуляре поля $Ок_1$ делается перекрестье, освещаемое лампочкой. В фокальной плоскости телескопа располагается блок диафрагм *Д*, представляющий собой диск или сектор с набором диафрагм размером от 30″ до 2′. За блоком диафрагм располагается призма *П* с окуляром $Ок_2$ диафрагменного микроскопа, которые позволяют контролировать положение звезды в диафрагме. При введении призмы *П* на фотокатод ФЭУ может быть направлен световой поток от радиоактивного эталона (люминофора) *Эт*, который предназначен для контроля постоянства чувствительности аппаратуры. В настоящее время все большее распространение получают

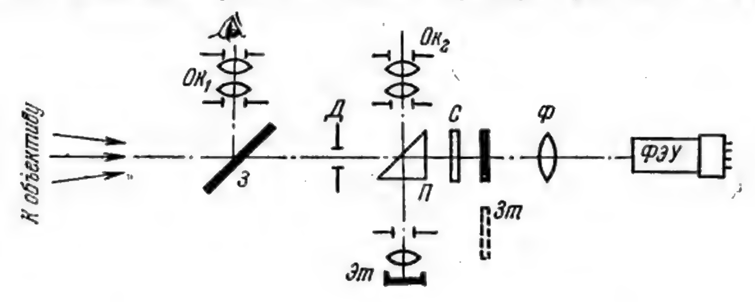


Рис. 132. Оптическая схема электрофотометра.

эталоны с использованием светодиодов. Перекрытие светового потока на ФЭУ для регистрации величины темнового тока осуществляется затвором $З_m$. Перед фотокатодом ФЭУ устанавливается линза Фабри *Ф*, которая строит на фотокатоде изображение входного отверстия телескопа (объектива или главного зеркала), освещенного светом исследуемой звезды. Благодаря жесткой конструкции фотометра получается неподвижное пятно на фотокатоде ФЭУ, что важно ввиду наличия зонной чувствительности фотокатода. Расчет линзы Фабри и ее расположения в фотометре проводится по следующим формулам:

минимальный радиус r линзы Фабри

$$r = \rho + lR/F,$$

где ρ — радиус наибольшей из рабочих диафрагм фотометра, l — расстояние от диафрагмы D до линзы Фабри (задается), R — радиус объектива (главного зеркала) телескопа, F — фокусное расстояние объектива (эквивалентное фокусное расстояние),

расстояние s от линзы Фабри до фотокатода ФЭУ

$$s = \frac{\sigma(F+l)}{R},$$

где σ — радиус рабочей площадки фотокатода ФЭУ (оценивается приближенно). Фокусное расстояние линзы Фабри

$$f = \frac{s(F+l)}{F+l+s} \quad \text{или} \quad f = \frac{\sigma(F+l)}{R+\sigma}.$$

Для фотометрии исследуемого объекта в различных участках спектра используются светофильтры *C*, вводимые поочередно в световой поток, падающий на ФЭУ. Для проведения наблюдений в системе, близкой к *UBV*, при использовании ФЭУ с сурьмяно-цезиевым фотокатодом применяют светофильтры ЖС-18, СС-5, УФС-6. При использовании ФЭУ с мультищелочным фотокатодом ко всем трем фильтрам необходимо добавить светофильтр СЗС-21. Конструктивно блок светофильтров может представлять собой диск, сектор или линейку с набором светофильтров.

М е т о д и к а   э л е к т р о ф о т о м е т р и ч е с к и х   н а б л ю д е н и й. Электрофотометрические наблюдения дают большую точность в том случае, если имеется возможность вычислить все необходимые поправки, наиболее существенной из которых является точный учет атмосферного поглощения — экстинкции. Поэтому электрофотометрические наблюдения можно проводить лишь в ночи с хорошей прозрачностью, когда не видно следов облаков, тумана или цирусов. Для стабильной работы аппаратура должна включаться на прогрев примерно за час до наблюдений, при этом на ФЭУ подается полное рабочее напряжение. Для устранения потоков воздуха из павильона, которые могут создавать дополнительное дрожание фокального изображения звезды, рекомендуется не менее, чем за час, открывать купол (откатывать крышу) павильона для выравнивания температуры воздуха снаружи и внутри.

При наблюдении переменной звезды прежде всего необходимо выбрать в ближайших окрестностях две звезды сравнения различного блеска, так, чтобы одна была несколько ярче, другая немного слабее переменной. Более яркая звезда обычно обозначается буквой *a*, более слабая — *b*, переменная — буквой *v*. Чтобы облегчить вычисления и избежать введения цветового коэффициента при вычислении экстинкции, звезды сравнения необходимо подбирать близкие по спектральному классу к исследуемой звезде. Наблюдения переменной звезды в трех фильтрах (*U*, *B*, *V*) производят по следующей схеме: эталон, темновой ток, звезда *a* в фильтре *V*, звезда *a* в фильтре *B*, звезда *a* в фильтре *U*, фон неба около звезды *a* в фильтрах *V*, *B* и *U*, переменная *v* в фильтре *V*, *v* в фильтре *B*, v_U, фон неба около переменной в фильтрах *V*, *B* и *U*, звезда b_V, b_B, b_U, фон *V*, *B*, *U*, переменная v_V, v_B, v_U, фон *V*, *B*, *U*, a_V, a_B, a_U, фон *V*, *B*, *U*, v_V, v_B, v_U, фон *V*, *B*, *U* и т. д. Отсчет переменной в трех фильтрах и фона неба около нее чередуется с поочередными отсчетами звезд сравнения. Через 3—5 измерений переменной звезды измеряется радиоактивный эталон и темновой ток. Во время наблюдений в журнале или на ленте самописца необходимо отмечать название переменной звезды, число, месяц, год, время начала наблюдений, соответствующие первому отсчету звезды, и затем отмечать на ленте самописца через каждые 10 минут (в случае равномерной протяжки ленты самописца). При пользовании стрелочным регистрирующим

прибором или прибором с цифровой индикацией необходимо отмечать время момента наблюдения каждой звезды в каждом фильтре с точностью до 0,1 мин. Далее в журнале или на ленте записывается поправка часов, параметры аппаратуры: напряжение питания ФЭУ, положение переключателей чувствительности, номер или диаметр используемой диафрагмы, название фильтров при отсчетах звезд и фона и, наконец, состояние неба и фамилии наблюдателей.

Обработка электрофотометрических наблюдений. Исходными данными, получаемыми в процессе наблюдения, являются: отсчеты при наведении на звезду вместе с фоном неба через соответствующие фильтры, отсчеты фона неба через те же фильтры, моменты времени, соответствующие отсчетам звезд. Отсчеты звезд для каждого фильтра измеряются миллиметровой линейкой на ленте самопишущего прибора относительно уровня отсчета фона неба с теми же фильтрами. В случае применения стрелочного прибора или прибора с цифровой индикацией берется разность отсчетов звезды в фильтре на уровне фона и уровня фона неба в том же фильтре. Результаты наблюдений желательно записывать в следующей форме:

Звезда; $T_д$; S; t; $\cos t$; $\cos z$; $M(z)$; n; $\lg n$; m'; $\Delta M(z)$; δm; Δm; $\Delta\bar{m}$ JD; ψ,

где $T_д$ — декретное время момента наблюдения звезд, S — местное звездное время наблюдения звезд, t — часовой угол звезд в момент наблюдения, $\cos t$ — значение его косинуса, z — зенитное расстояние звезды в момент наблюдения, $M(z)$ — воздушная масса, соответствующая данному z, n — отсчет звезды в миллиметрах в соответствующем фильтре (по ленте относительно фона) или в делениях шкалы за вычетом фона (в случае стрелочного прибора), m' — значения отсчетов звезды в звездных величинах для соответствующих фильтров в системе инструмента без учета атмосферной экстинкции, $\Delta M(z)$ — разница воздушных масс, проходимых светом от звезды сравнения и переменной, δm — поправка для приведения звезды сравнения на место переменной, Δm — внеатмосферная разность звездных величин звезд сравнения и переменной в системе инструмента, $\Delta\bar{m}$ — усредненное значение этих разностей для соответствующих фильтров, JD — юлианская дата момента наблюдения переменной через соответствующий фильтр с учетом поправки на приведение к центру Солнца, ψ — фаза колебания блеска (для периодических звезд). При обработке наблюдений понадобятся также географические координаты места наблюдения: λ — долгота и φ — широта; экваториальные координаты переменной звезды и звезд сравнения для момента наблюдений (каталожные с учетом прецессии). Прежде всего по обычным формулам сферической астрономии вычисляем зенитные расстояния и по таблицам Бемпорада находим $M(z)$.

Следующий этап обработки — вычисление звездных величин. Сначала находят значения $\lg n$ и умножением на $-2,5$ находят m', которую необходимо освободить от атмосферного поглощения. Для этого надо найти коэффициент экстинкции для каждого цвета: k_V, k_B, k_U (см. § 5 гл. III). Средний коэффициент экстинкции может быть определен графически или способом наименьших квадратов. При графическом способе строится график зависимости m' для каждого фильтра от соответствующих значений $M(z)$ для каждой постоянной звезды. По полученным точкам проводится *бугеровская прямая*, тангенс угла наклона которой к оси абсцисс есть коэффициент экстинкции

$$k = \operatorname{tg}\beta = \frac{\delta m'}{\delta M(z)}. \quad (4.10)$$

Пример построения такого графика для желтого фильтра приведен на рис. 133. Экстраполяция бугеровской прямой до значения $M(z)$, равного нулю, дает внеатмосферное значение блеска звезды с данным фильтром в системе инструмента.

Рис. 133. График для определения коэффициента экстинкции.

Этот метод определения коэффициентов экстинкции может быть успешно применен в том случае, если прозрачность атмосферы не зависит от азимута наблюдаемой звезды. Наличие азимутального эффекта легко проявляется при построении графика в зависимости m' от $M(z)$ в явной кривизне бугеровских линий. Такая неравномерность в прозрачности атмосферы обычно вызывается местными топографическими условиями. При наличии азимутального эффекта использование средних коэффициентов экстинкции может привести к существенным ошибкам. В этом случае необходимо провести длительную серию специальных наблюдений для построения подробной кривой зависимости k от азимута для различных z. Для учета поглощения света в атмосфере в этом случае необходимо использовать мгновенные значения коэффициента экстинкции.

Использование среднего коэффициента экстинкции даже при хороших климатических условиях может привести к заметным ошибкам в измерениях блеска звезд. Поэтому при обработке наблюдений желательно пользоваться мгновенными (относящимися к данному моменту времени наблюдения исследуемой звезды) значениями коэффициента экстинкции, требующими, однако, знания точных внеатмосферных звездных величин в системе инструмента. При отсутствии азимутального эффекта нахождение мгновенных значений коэффициента экстинкции можно проводить по методу, предложенному проф. В. Б. Никоновым. Для этого

при составлении программы наблюдений выбирается вспомогательная стандартная звезда, близкая по спектральному классу к звездам сравнения, которая наблюдается совместно со звездами сравнения и переменной. Описанной ранее методикой (графически или способом наименьших квадратов) определяются приближенная внеатмосферная звездная величина m_0' вспомогательной (стандартной) звезды и приближенные значения коэффициентов экстинкции $k'(t)$ для каждого фильтра из уравнений

$$m_0' + k'(t) M(z) = m(z, t). \quad (4.11)$$

Отсюда следует, что

$$k'(t) = \frac{m(z, t) - m_0'}{M(z)} = \frac{m(z, t) - m_0}{M(z)} + \frac{m_0 - m_0'}{M(z)} = k(t) + \frac{\delta m_0}{M(z)}, \quad (4.12)$$

где $m(z, t)$ — звездная величина стандартной звезды, не исправленная за атмосферное поглощение, t — момент наблюдения, $k(t)$ — точное значение коэффициента экстинкции, соответствующее моменту времени t, m_0 — точная внеатмосферная величина стандартной звезды в системе инструмента, $\delta m_0 = m_0 - m_0'$ — величина ошибки в определении точного значения внеатмосферной звездной величины стандартной звезды.

Далее, пользуясь полученным приближенным значением коэффициента экстинкции $k'(t)$, можно по формуле вида (4.11) и учитывая (4.12) записать приближенные внеатмосферные значения звездной величины для звезды сравнения a:

$$m_{0a}' = m_a(z_a, t_a) - k'(t_a) M(z_a) = \\ = m_a(z_a, t_a) - k(t_a) M(z_a) - \frac{\delta m_0}{M(z)} M(z_a) = \\ = m_a(z_a, t_a) - k(t_a) M(z_a) - \eta\,\delta m_0, \quad (4.13)$$

где $\eta = M(z_a)/M(z)$ — отношение воздушных масс, проходимых светом от звезды сравнения и стандартной звезды, отнесенных к одному моменту наблюдений, т. е. $M(z)$ — воздушная масса, которая относится к стандартной звезде в момент наблюдения звезды сравнения a. Необходимо заметить, что стандартная звезда должна выбираться таким образом, чтобы значение η возможно больше менялось во время наблюдений, т. е. эти звезды должны быть на существенно разных зенитных расстояниях. Из уравнения (4.13), учитывая формулу (4.11), можно получить

$$m_{0a} = m_{0a}' + \eta\delta m_0. \quad (4.14)$$

Имея ряд таких уравнений из всех имеющихся наблюдений звезды сравнения и стандартной звезды, можно способом наименьших квадратов определить внеатмосферную звездную величину звезды сравнения в системе инструмента m_{0a} и ошибку δm_0 в первона-

чальном определении внеатмосферной звездной величины стандартной звезды.

Определив таким образом значения m_{0a} и m_0, можно по формуле

$$k(t) = \frac{m_a(z, t) - m_{0a}}{M(z)} \tag{4.15}$$

получить мгновенные значения коэффициента экстинкции $k(t)$ для каждого момента наблюдений t.

При использовании радиоактивного эталона для исключения влияния нестабильности работы аппаратуры все измерения блеска звезд могут быть выполнены относительно этого эталона по формуле

$$m(z, t) - m_{эт} = -2{,}5 \lg \frac{n^*(z, t)}{n_{эт}}. \tag{4.16}$$

После вычисления коэффициентов экстинкции приступают к вычислению $\Delta M(z)$ — разности воздушных масс, проходимых светом звезды сравнения и переменной:

$$\left.\begin{aligned} \Delta M(z)_a &= M(z_a) - M(z_v), \\ \Delta M(z)_b &= M(z_b) - M(z_v) \end{aligned}\right\} \tag{4.17}$$

для каждого фильтра. Так как берется разность воздушных масс переменной относительно обеих звезд сравнения, то для каждого значения звездной величины переменной звезды в соответствующем фильтре получается по два значения $\Delta M(z)$ с разными знаками. Зная величины $\Delta M(z)$, k_V, k_B и k_U, определяют поправки δm_V, δm_B, δm_U, которые необходимо ввести в соответствующие отсчеты $m'_ж$, $m'_с$, $m'_ф$ звезд сравнения для приведения их на место переменной:

$$\delta m = k\,\Delta M(z). \tag{4.18}$$

Приведение звезды сравнения на место переменной осуществляется вычитанием полученных поправок δm с их знаком из соответствующих значений m' звезд сравнения. Из полученных значений m_1 звезд сравнения вычитаются значения блеска переменной m' и получается внеатмосферная разность Δm звездных величин звезды сравнения и переменной. Так как мы измеряли блеск переменной звезды относительно двух звезд сравнения, то у нас получились два значения Δm для каждого цвета. Отсчет переменной должен выражаться в конечном счете относительно одной из звезд сравнения, обычно яркой; поэтому отсчет относительно второй звезды необходимо перевести в отсчеты относительно первой Для этого пользуются следующей схемой вычислений:

$$a - v - (\overline{a - b}) + (b - v). \tag{4.19}$$

Средняя внеатмосферная разность в звездных величинах $\overline{(a - b)}$ между звездами a и b в соответствующих фильтрах определяется следующим образом. Находятся все разности между m_{1a} и m_{1b} в соответствующих фильтрах, которые суммируются и делятся на количество разностей. В результате вычислений по формуле (4.19) и ранее полученным значениям Δm относительно звезды сравнения a для каждого момента времени получаются два близких значения Δm. Беря из этих значений среднеарифметическое, получим $\overline{\Delta m}$ — среднюю разность звездных величин звезды сравнения a и переменной.

В заключение этого параграфа хочется еще раз подчеркнуть, что описанная методика обработки электрофотометрических наблюдений является простейшей и пригодна только в случае близости звезд по спектральному классу, так как при вычислении коэффициентов экстинкции не использовались поправки, учитывающие разность цвета звезд. В большинстве случаев удается подобрать звезды сравнения, близкие по спектральному классу к переменной, иногда даже в ее ближайших окрестностях, особенно при фотометрии слабых звезд. В случае, если спектральные классы звезд отличаются друг от друга более чем на 0,5 спектрального класса, необходимо уже учитывать поправку из-за разницы в цветах звезд.

Полученные значения блеска переменной звезды в системе инструмента уже пригодны для построения кривой изменения блеска и ее анализа. Перевод фотометрической системы инструмента в систему *UBV* осуществляется путем наблюдений звезд электрофотометрического стандарта. Для разных сезонов можно рекомендовать следующие стандарты: звездные скопления IC 4665, Ясли, Гиады (Приложение VI), в которых необходимо измерить блеск звезд разного спектрального класса и звездных величин. Для определения коэффициента экстинкции во время наблюдений необходимо вести непрерывный ряд измерений блеска одной из звезд стандарта на разных зенитных расстояниях. Перевод в систему *UBV* полученных значений блеска звезд в системе инструмента после вывода их за атмосферу по описанной выше методике осуществляется по формуле

$$m_{st} - m_0 = a + bm_0 + cC,$$

где m_{st} — звездная величина данной звезды стандарта в системе U, B или V; m_0 — внеатмосферная звездная величина той же звезды при наблюдении через соответствующий фильтр (фиолетовый, синий или желтый) в системе инструмента, a — член, определяющий нуль-пункт системы отсчета шкалы звездных величин, b — коэффициент, определяющий масштаб звездных величин в системе инструмента, c — коэффициент, определяющий цветовую близость системы инструмента к системе *UBV*, C — цветовой эквивалент системы инструмента. По всем полученным измерениям

звезд стандарта строится система нормальных уравнений и методом наименьших квадратов получают значения коэффициентов a, b, c. Подставляя значения блеска m_0 звезд сравнения и переменной звезды в формулу

$$m_{UBV} = m_0 + a + bm_0 + cC,$$

получают значение блеска m_{UBV} этих звезд в системе UBV.

Электроспектрофотометрические наблюдения звезд. Простейший электроспектрофотометр может быть создан на базе электрофотометра следующим образом. Перед объективом телескопа устанавливается призма того же диаметра, которая разлагает в спектр фокальное изображение звезды. В фотометре вместо диафрагмы устанавливается щель, желательно с зеркальными щечками для обеспечения возможности гидирования по спектру, и с помощью редуктора осуществляют медленное равномерное движение телескопа от синхронного мотора по одной из осей, удобнее по склонению. В этом случае призма устанавливается перед объективом таким образом, чтобы ее дисперсия была направлена тоже по δ. Оптическая и блок-схема такого электроспектрофотометра представлена на рис. 134.

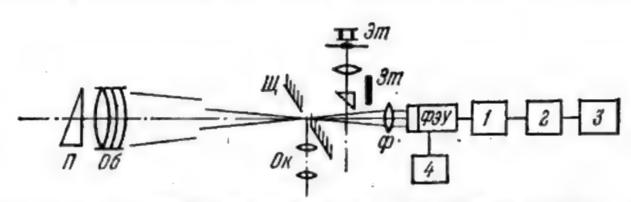


Рис. 134. Блок-схема электроспектрофотометра с объективной призмой. *П* — призма, *Об* — объектив телескопа, *Ок* — окуляр, *Эт* — эталон, *Зт* — затвор, *Ф* — линза Фабри, *Щ* — щель, *1* — предусилитель, *2* — усилитель, *3* — самописец, *4* — питание ФЭУ.

Окуляр *Ок* позволяет гидировать телескоп по спектру, отраженному от щечек зеркальной диафрагмы. Контроль за ведением телескопа может осуществляться и с помощью гида, но в таком случае он должен быть повернут относительно главной трубы на угол преломления призмы. Существенным недостатком данного электроспектрофотометра в случае использования телескопа-рефрактора является ухудшение разрешения в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра вследствие хроматической аберрации объектива телескопа. Этот недостаток, однако, не исключает возможности использовать прибор для изучения распределения энергии в спектрах звезд и исследования сильных линий и молекулярных полос, так как в процессе обработки наблюдений происходит сравнение монохроматических участков спектров исследуемой и стандартной звезд, а спектр последней в такой же мере искажен хроматической аберрацией. Для электроспектрофотометрического исследования протяженных объектов необходимо уже использовать щелевые спектрометры, где изобра-

жение объекта строится телескопом на входной щели. По своей конструкции спектрометр напоминает спектрограф, у которого вместо фотопластинки установлена выходная щель. Оптическая же и блок-схема спектрометра аналогична приведенной на рис. 134. Смещение (сканирование) спектра по щели может быть осуществлено поворотом призмы или дифракционной решетки. Наиболее удобными являются конструкции спектрометров с вогнутыми дифракционными решетками, которые не требуют дополнительной оптики — коллиматора и камеры, являющейся необходимым элементом в призменных или дифракционных спектрометрах с плоской решеткой. Использование линзовой оптики для коллимации светового пучка и построения спектра на выходной щели может также ухудшить спектр ввиду наличия хроматической аберрации и в идеальном случае требует дополнительной коррекции аберрации синхронно с учетом поворота диспергирующего элемента.

Существенным недостатком фотоэлектрического сканирования спектров является то, что отдельные элементы спектра регистрируются неодновременно, а это при неустойчивой прозрачности может служить источником трудно учитываемых ошибок. Поэтому электроспектрометрические наблюдения должны обязательно проводиться в хорошую устойчивую погоду или должна быть использована компенсация, учитывающая изменение прозрачности атмосферы.

Методика электроспектрофотометрических наблюдений и их обработки. При электроспектрофотометрических наблюдениях звезд распределение энергии в спектре исследуемой звезды сравнивается с распределением энергии в спектре стандартной звезды, что позволяет устранить влияние системы инструмента на истинное распределение энергии в спектре исследуемой звезды и получить это распределение энергии в абсолютных энергетических единицах. Таким образом, методика наблюдения состоит в том, что наряду со сканированием спектров исследуемых звезд необходимо несколько раз в течение ночи регистрировать спектр стандартной звезды на различных зенитных расстояниях. Это позволит затем вычислить монохроматические коэффициенты экстинкции и построить кривую спектральной прозрачности за данную ночь. Обработка электроспектрофотометрических наблюдений сходна с описанной выше обработкой электрофотометрических наблюдений. Для контроля постоянства чувствительности аппаратуры и определения коэффициентов перехода между различными режимами работы при наблюдении различных по яркости звезд желательно перед каждой записью спектра и после нее записывать отсчет эталона на тех же режимах, что и запись спектра.

При наблюдениях в качестве стандартных звезд используются звезды с известным распределением энергии в спектре в абсолютных энергетических единицах, такие как α Лиры, β Овна,

η Большой Медведицы. В настоящее время имеется уже большое число звезд с известным распределением энергии, которые могут служить стандартами для любой исследуемой звезды.

§ 20. О некоторых спектральных наблюдениях

Любитель астрономии может с успехом выполнять только некоторые спектральные наблюдения, так как спектральные приборы очень сложны и дороги и их, как правило, у любителя нет. Примитивный спектроскоп позволит ему только ознакомиться с видом спектра, что не только желательно, но и необходимо.

Спектроскоп состоит из трех основных частей — коллиматора, призмы (или дифракционной решетки) и зрительной трубы. В передней части коллиматора расположена щель; она находится в переднем главном фокусе объектива коллиматора. Поэтому излучение небесного светила, направленное телескопом в щель спектроскопа, выходит из щели расходящимся пучком и объектив коллиматора превращает его в пучок параллельных лучей. Затем этот пучок попадает на призму (или решетку), которая разлагает его на совокупность параллельных монохроматических пучков, по-разному отклоненных от первоначального направления в зависимости от длины волны. Объектив зрительной трубы образует в своем главном фокусе изображение спектра — упорядоченной совокупности монохроматических изображений щели. В окуляр мы рассматриваем спектр, но можем его и сфотографировать, если в фокусе зрительной трубы установить пластинку.

Чистота спектра зависит от ширины щели. Если сделать щель очень широкой, то ее изображения будут накладываться и спектр будет «размываться». Качество спектроскопа характеризуется *разрешающей силой*, под которой понимают минимальную разность длин волн двух раздельно различимых спектральных линий. Кроме того, важна еще *линейная дисперсия*, характеризующая масштаб спектрограммы; она равна разности длин волн двух спектральных линий, расстояние между которыми на спектрограмме равно 1 мм. Линейная дисперсия зависит от длины волны.

Так, например, для призмы с преломляющим углом 60°, изготовленной из флинтгласа, при фокусном расстоянии зрительной трубы, равном 600 мм, линейная дисперсия в синей части спектра равна 50 Å на миллиметр (Å/мм), а в фиолетовой — 26 Å/мм. Линейная дисперсия тем больше, чем больше преломляющий угол призмы и чем больше фокусное расстояние зрительной трубы или заменяющей ее фотографической камеры.

Итак, обычный спектроскоп дает возможность любителю только познакомиться с видом спектра. При этом, приспособив его к телескопу так, чтобы щель находилась в главном фокусе объектива, наблюдатель не сможет увидеть хорошо различимый спектр звезды. Дело в том, что точечное фокальное изображение звезды освещает только небольшой участок щели и в окуляр мы увидим «ниточный»

спектр звезды. В нем мы не увидим никаких линий. Спектр надо «растянуть» в перпендикулярном направлении. Без растяжения хорошо будут видны только спектры протяженных объектов — Луны и Солнца.

Для любителя астрономии гораздо доступнее другой спектральный прибор — объективная призма. Так как звезды могут рассматриваться как светящиеся бесконечно удаленные точки, то можно считать, что они посылают параллельные пучки лучей. Следовательно, для получения их спектров совершенно не нужен коллиматор. Установив перед объективом телескопа призму, мы будем видеть при помощи окуляра «ниточный» спектр звезды. В этом спектре по указанной выше причине мы не увидим спектральных линий. Чтобы увидеть линии, ниточные изображения звездных спектров расширяют, смещая при фотографировании весь инструмент перпендикулярно к направлению дисперсии призмы.

Фотографическая камера, имеющая объективную призму, может оказаться очень полезной для наблюдения метеорных спектров. Метеор, как известно, испускает спектр, состоящий из совокупности ярких эмиссионных линий. Наблюдая спектр метеора с объективной призмой, мы увидим в поле зрения не один метеор, а несколько, т. е. совокупность его монохроматических изображений. Хотя это явление крайне быстротечно, опытный наблюдатель, хорошо знакомый с видом спектра, может отождествить спектральные линии и оценить их интенсивности.

Исследование фотографии спектра метеора. Получение фотографического снимка спектра метеора — весьма сложная задача.

Для получения такого снимка перед объективом фотографической камеры устанавливается объективная призма с преломляющим углом 30—45°; установка призмы производится таким образом, чтобы для оптической оси камеры соблюдалось условие угла наименьшего отклонения. Преломляющее ребро призмы ориентируется параллельно суточному движению небесной сферы, т. е. вдоль суточной параллели. Камера во время получения снимка остается неподвижной. Экспозиция длится час и даже более.

Что получится на таком снимке? Если обычно изображение звезды прочерчивает на снимке дугу суточной параллели, то ввиду того, что полоска спектра направлена перпендикулярно к суточной параллели, мы получим на снимке изображения ярких звезд в виде более или менее широкой полосы (ширина зависит от фокусного расстояния объектива и угла преломления призмы). Если объектив не имеет большой остаточной хроматической аберрации, то все изображение будет в фокусе и на фоне темной полосы спектра мы увидим совокупность светлых параллельных дуг. Это изображения темных спектральных линий поглощения. Они тянутся вдоль всего изображения спектра, параллельно его

кромке. У звезд спектрального класса А мы легко отождествим серию водородных спектральных линий Бальмера. Это важно сделать, так как в этом случае мы сможем надлежащим образом обработать снимок.

Допустим, что нам посчастливилось и на снимке вышел спектр метеора. В результате нагрева метеорного тела входящие в его состав вещества испаряются и освободившиеся атомы испускают излучение определенных длин волн, так что в спектре метеора возникают яркие эмиссионные линии. Призма разлагает общий свет метеора в спектр, и на спектральном снимке мы видим совокупность параллельных монохроматических изображений метеора.

Таким образом, на снимке метеорного спектра мы видим ряд параллельных черных линий. Непрерывный спектр, если он и существует, сильно ослаблен, на метеорных снимках его обычно обнаружить не удается.

Получив снимок метеорного спектра, надо определить длины волн обнаруженных линий, а это позволит произвести химический анализ метеорного вещества спектральным путем.

Полная обработка метеорного спектра производится очень сложно по следующим причинам.

Во-первых, траектория метеора обычно составляет некоторый угол с плоскостью главного сечения призмы. В таком случае для излучения метеора призма не находится в положении угла наименьшего отклонения. Теория осложняется.

Во-вторых, фотокамеры обладают дисторсиями, которые при точной обработке надо учитывать. Это также не просто.

В-третьих, для полной обработки спектрального снимка надо иметь снимок того же самого метеора, полученный без призмы. Сравнивая два снимка, можно решить задачу определения длин волн полностью.

Не входя в детали, опишем простейшую задачу, которая состоит в определении длин волн обнаруженных спектральных линий по одному снимку без учета «тонких» эффектов. Часто можно этим ограничиться, так как редко спектр метеора получается столь удачно сфотографированным, чтобы измерения можно было произвести с большой точностью. Спектры должны быть измерены. Лучше всего, если такие измерения будут произведены на измерительном приборе, позволяющем определять две прямоугольные координаты с большой точностью. В настоящее время во многих местах, в частности, в заводских лабораториях, распространены измерительные микроскопы. Пластинка (или пленка, зажатая между двумя стеклами) кладется на столик микроскопа. Производится наведение нити микроскопа на нужное изображение и отсчитываются показания микрометренных винтов, перемещающих столик в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Можно измерения производить и при наличии одного микроскоп-микрометра. Он даст нам только одну координату.

На худой случай, надо увеличить снимок спектра в несколько раз фотографическим путем и измерять координаты, накладывая линейку. Конечно, в этом случае измерения будут иметь меньшую точность.

На изображениях спектров звезд нужно измерить расстояния между отождествленными спектральными линиями. Для этого координатную ось a надо установить вдоль направления дисперсии призмы, т. е. перпендикулярно к суточной параллели. Подобные измерения дадут возможность построить дисперсионную кривую призмы и выразить ее дисперсионной формулой.

Для отождествления лучше всего выбрать такие звезды, которые имеют водородные линии, т. е. звезды спектрального класса А. Чем больше линий мы отождествим, тем более надежный результат получим.

Пример. С. Н. Блажко, изучая спектр метеора, пролетевшего 12 августа 1907 г., смог отождествить в спектрах звезд водородные линии H_β, H_γ, H_δ, H_ε, H_ζ и H_η. Наведение микроскопа на изображения этих линий дали для пяти звезд значения координаты x, приведенные в табл. XIX.

Таблица XIX

Линия	№ звезды				
	III	VII	IX	XIII	XIV
H_β	1,2606	1,6142	3,4276	1,3362	0,7710
H_γ	1,0761	1,4278	3,2488	1,1530	0,5818
H_δ	0,9635	1,3166	3,1393	1,0406	0,4686
H_ε	0,8915	1,2456	3,0669	0,9687	0,3956
H_ζ	0,8432	1,1945	3,0231	0,9218	0,3466
H_η	0,8093	1,1656	2,9897	0,8888	—
Среднее	1,0070	1,3597	3,1811	1,0841	0,5127

Мы видим, что отсчеты систематически смещены для каждой звезды, так как звезды занимали на пластинке различные положения. Чтобы сделать данные о различных звездах сравнимыми, мы вычислили средние значения в каждом столбце и вычислили разности по отношению к средним. В табл. XX указаны эти разности.

Мы видим, что они более сходны. Затем взяты средние значения, которые обозначены через $\bar{x}$.

Таблица XX

Линия	III	VII	IX	XIII	XIV	$\bar{x}$	λ, Å
H_β	0,2536	0,2545	0,2465	0,2521	0,2583	0,2530	4861,6
H_γ	0,0691	0,0681	0,0677	0,0689	0,0691	0,0686	4340,5
H_δ	—0,0435	—0,0431	—0,0418	—0,0435	—0,0441	—0,0432	4102,0
H_ε	—0,1155	—0,1141	—0,1142	—0,1154	—0,1171	—0,1153	3970,3
H_ζ	—0,1638	—0,1652	—0,1580	—0,1623	—0,1661	—0,1631	3889,2
H_η	—0,1977	—0,1941	—0,1914	—0,1953	—	—0,1946	3835,5

Дальнейшая задача состояла в том, чтобы связать разности $\bar{x}$ с длинами волн спектральных линий. В табл. XXI показано, как это делается.

Таблица XXI

Линия	$\bar{x}$	λ, Å
H_β	0,2530	4861,6
H_γ	0,0686	4340,5
H_η	—0,1946	3835,5

Были выбраны три спектральные линии. Использовалась дисперсионная формула $\lambda = \lambda_0 + \frac{c}{k - \bar{x}}$. Подставляя сюда указанные выше числа, мы получим численное ее решение. Постоянные неизвестные в ней оказались равными $\lambda_0 = 1675$ Å, $k = 1,1944$, $c = 3000,2$.

Полученная формула была проверена по всем наблюдениям. Ход этой проверки можно видеть в табл. XXII.

Таблица XXII

$\bar{x}$	$k-\bar{x}$	$c:(k-\bar{x})$	$\lambda_{выч}$	$\lambda_{задан}$	$\lambda-\lambda_з= =\Delta\lambda_1$	$\Delta\lambda_2$
0,2530	0,9414	3187,0	4862,0	4861,6	—0,4	+0,2
0,0686	1,1258	2664,9	4339,9	4340,5	+0,6	—0,9
—0,0432	1,2376	2424,2	4099,2	4102,0	+2,8	+0,5
—0,1153	1,3097	2290,8	3965,8	3970,3	+4,5	+1,9
—0,1631	1,3575	2210,1	3885,1	3889,2	+4,1	+1,2
—0,1946	1,3890	2160,0	3835,0	3835,5	+0,5	—2,5

Отклонения хотя и малы, но имеют систематический ход. Формула может быть улучшена по способу наименьших квадратов по формуле поправок:

$$\Delta\lambda = \Delta\lambda_0 + \frac{\Delta c}{k - \bar{x}} - \frac{c}{(k - \bar{x})^2}\,\Delta k,$$

где $\Delta\lambda_0$, Δc и Δk — неизвестные, подлежащие определению поправки коэффициентов. При вычислении коэффициентов условных уравнений в них подставляют приближенные значения неизвестных, найденные в первом приближении. Соответствующие вычисления дали такую систему шести условных уравнений:

$$\Delta\lambda_0 + 1,06\Delta c - 3378\Delta k = -0,4,$$
$$\Delta\lambda_0 + 0,89\Delta c - 2372\Delta k = +0,6,$$
$$\Delta\lambda_0 + 0,81\Delta c - 1963\Delta k = +2,8,$$
$$\Delta\lambda_0 + 0,76\Delta c - 1741\Delta k = +4,5,$$
$$\Delta\lambda_0 + 0,74\Delta c - 1635\Delta k = +4,1,$$
$$\Delta\lambda_0 + 0,72\Delta c - 1555\Delta k = +0,5.$$

Затем были вычислены нормальные уравнения:

$$6\Delta\lambda_0 + 4,98\Delta c - 12\,644\Delta k = 12,1,$$
$$4,98\Delta\lambda_0 + 4,22\Delta c - 10\,934\Delta k = +9,2,$$
$$-12\,644\Delta\lambda_0 - 10\,934\Delta c + 29\,012\,968\Delta k = -20\,884.$$

Отсюда находятся поправки:

$$\Delta\lambda_0 = +5{,}18,\ \Delta c = +2{,}16,\ \Delta k = +0{,}00235$$

и окончательная дисперсионная формула имеет вид

$$\lambda = 1680{,}2 + \frac{3002{,}4}{1{,}1968 - \bar{x}}.$$

Относительно этой формулы вычислены отклонения, приведенные в последнем столбце предыдущей таблицы. Имеется некоторый систематический ход, который лежит в пределах ошибок наблюдений. Его можно объяснить также тем, что использованная формула, являясь интерполяционной, не представляет с достаточной точностью положения спектральных линий. Часто пользуются дисперсионной формулой вида

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{c}{(k - \bar{x})^{\alpha}}.$$

Однако определение ее коэффициентов производится гораздо сложнее. Так как в нашем случае ошибки лежат в пределах точности измерений, полученная формула нас вполне удовлетворяет.

Теперь надо приступить к обработке спектра метеора. Спектр метеора также должен быть измерен. Здесь поступают следующим образом. Если измерения ведутся на машине, позволяющей делать отсчеты по двум взаимно перпендикулярным координатам, то задача решается просто. Измерения ведутся совместно с описанными измерениями координат спектров звезд. В таком случае одна из осей координат уже установлена в направлении дисперсии призмы. Не нарушая этой ее установки, наводят микроскоп на спектр метеора и в нескольких местах производят «разрезы» спектра метеора. Измеряют координаты «ярких», на снимке черных, линий спектра метеора.

Если же имеется микроскоп-микрометр, позволяющий измерять только одну координату, то дело осложняется. Мы вынуждены устанавливать спектр метеора «поперек» направления отсчета. Тогда, измерив расстояния между линиями (координата C), мы должны еще определить и угол φ, который составляет спектр метеора со спектрами звезд. Чтобы получить расстояния линии вдоль дисперсии призмы (координата B), придется применить формулу

$$B = C \sec \varphi,$$

где через B обозначены нужные нам разности координат спектральных линий в направлении дисперсии призмы, а через C — измеренные разности расстояний между ними «поперек» метеора. Так же приходится поступать и при измерении увеличенного снимка линейкой.

Определив координаты x, можно приступать к использованию дисперсионной формулы.

Так как в составе метеорного вещества всегда есть кальций, спектр которого очень интенсивен, то в фиолетовом конце спектра обычно видны две яркие линии H и K ионизованного каль-

ция. Их легко узнать и они дают возможность решить задачу. Близкий «дублет» интенсивных линий всегда резко выделяется на фоне всего спектра. Мы можем принять одну из этих линий за начало координат, вычислить все расстояния от нее и затем с помощью дисперсионной формулы вычислить длины волн остальных линий.

Пример. С. Н. Блажко в результате измерения спектра метеора на двухкоординатной машине, у которой ось B была установлена в направлении дисперсии призмы, получил следующие данные о координатах спектральных линий в различных частях метеора (табл. XXIII):

Таблица XXIII

№ линии	A					Интенсивность
	1	2	3	4	5	
	2,1428	2,1737	2,1967	2,2227	2,2716	
1	—	1,7300	1,7447	—	—	Конец
2	1,8285	—	1,8912	1,9302	—	1—2
3	1,8444	1,8808	1,9108	1,9483	2,0092	—
4	1,8585	—	1,9283	1,9642	—	4
5	1,8935	—	—	—	—	—
6	1,9136	1,9496	1,9732	2,0130	2,0730	1
7	1,9280	1,9654	1,9950	2,0305	—	5
8	1,9665	2,0070	2,0354	2,0680	—	1—2
9	1,9854	2,0258	2,0540	2,0905	—	10
10	2,0332	2,0742	2,1050	2,1366	2,1959	10
11	2,0725	2,1127	2,1415	2,1756	—	2
12	2,1167	2,1570	2,1824	2,2157	2,2790	3
13	2,1364	2,1660	—	—	—	2
14	2,1638	2,1982	—	—	—	2
15	2,1875	2,2252	2,2540	2,2882	2,3470	1
16	2,2010	2,2425	2,2683	2,3044	—	3
17	2,2233	2,2625	2,2916	2,3266	—	2
18	2,2575	2,2922	—	—	—	5
19	2,2900	2,3178	2,3512	—	—	2
20	—	2,3995	2,4146	—	—	1
21	—	2,4090	—	—	—	Конец

Координата A направлена перпендикулярно к дисперсии призмы. В таблице указаны значения координаты B для разных линий, в разных участках траекторий метеора. Пренебрегая влиянием дисторсии, образуем из этих измерений средние данные о спектре метеора. Для этого надо привести все измерения, сделанные при разных значениях A, к одному из них, например, к данным первого столбца. Из приведенной выше таблицы были выбраны данные о пяти общих линиях. Они приведены в табл. XXIV.

Таблица XXIV

№	Координата B				
3	1,8444	1,8808	1,9108	1,9483	2,0092
6	1,9186	1,9496	1,9782	2,0130	2,0730
10	2,0332	2,0742	2,1015	2,1366	2,1959
12	2,1167	2,1570	2,1824	2,2157	2,2790
15	2,1875	2,2252	2,2540	2,2882	2,3470
Среднее	2,0191	2,0574	2,0854	2,1204	2,1808

Из пяти значений, стоящих в каждом столбце этой таблицы, были получены средние значения, которые приведены внизу. Находя разности средних значений, мы получаем постоянные величины, которые должны быть вычтены из координат всего столбца, для того чтобы получить приведенные величины. Эти значения таковы:

$$0{,}0000;\ 0{,}0383;\ 0{,}0663;\ 0{,}1013;\ 0{,}1617.$$

Из приведенных в предыдущей таблице значений были вычтены эти поправки и образована таблица, содержащая «приведенные» координаты спектральных линий для пяти мест метеорного спектра. Из них были получены по строчкам средние значения координаты $\overline{B}$. Но подставлять их в дисперсионную формулу нельзя. Дело в том, что надо еще найти «нуль-пункт» координатной системы $\overline{B}$. Мы видим, что линии 8 и 9, имеющие максимальную интенсивность, в спектре образуют как бы «дублет». Отождествим их с линиями ионизованного кальция H и K. Примем, что линия 9 — это линия K. Известно, что линия K имеет длину волны $\lambda = 3934$ Å.

Теперь, использовав дисперсионную формулу, мы можем сказать, какую координату должна иметь эта линия. Подставляя λ, находим, что $3934 - 1680 = 3002{,}4 : (1{,}1968 - \bar{x})$. Отсюда $\bar{x} = 0{,}1351$. Вместе с тем в новой, редуцированной таблице она имеет координату $\overline{B} = 1{,}9678$. Чтобы сделать приведение, надо из всех чисел таблицы вычесть величину $1{,}9678 + 0{,}1351 = 2{,}1029$. Таким образом,

$$\bar{x} = \overline{B} - 2{,}1029.$$

Результаты приведены в табл. XXV. После их подстановки в дисперсионную формулу получены длины волн наблюденных линий. Конечно, описанная

Таблица XXV

№ линий	1	2	3	4	5	$\overline{B}$	$\bar{x}$	λ
1	—	1,6917	1,6784	—	—	1,6850	—0,4179	3540 Å
2	1,8285	—	1,8249	1,8289	—	1,8274	—0,2755	3720
3	1,8444	1,8425	1,8445	1,8470	1,8475	1,8452	—0,2577	3744
4	1,8585	—	1,8620	1,8629	—	1,8611	—0,2418	3767
5	1,8935	—	—	—	—	1,8935	—0,2094	3815
6	1,9136	1,9113	1,9119	1,9117	1,9113	1,9120	—0,1909	3844
7	1,9280	1,9271	1,9287	1,9292	—	1,9282	—0,1747	3869
8	1,9665	1,9687	1,9691	1,9667	—	1,9678	—0,1351	3934
9	1,9854	1,9875	1,9877	1,9892	—	1,9874	—0,1155	3968
10	2,0332	2,0359	2,0352	2,0353	2,0342	2,0348	—0,0681	4054
11	2,0725	2,0744	2,0752	2,0743	—	2,0741	—0,0288	4130
12	2,1167	2,1187	2,1161	2,1144	2,1173	2,1166	+0,0137	4218
13	2,1364	2,1277	—	—	—	2,1320	+0,0291	4251
14	2,1638	2,1599	—	—	—	2,1618	+0,0589	4319
15	2,1875	2,1869	2,1877	2,1869	2,1853	2,1869	+0,0840	4378
16	2,2010	2,2042	2,2020	2,2031	—	2,2026	+0,0997	4417
17	2,2283	2,2242	2,2253	2,2253	—	2,2245	+0,1216	4473
18	2,2575	2,2539	—	—	—	2,2557	+0,1528	4556
19	2,2900	2,2795	2,2849	—	—	2,2848	+0,1819	4638
20	—	2,3614	2,3483	—	—	2,3548	+0,2519	4858
21	—	2,3707	—	—	—	2,3707	+0,2678	4912

процедура имеет приближенный характер, однако для спектров, полученных с малыми объективами, она вполне достаточна.

После получения длин волн надо приступить к их отождествлению с линиями, известными из исследования лабораторных спектров. Сложность состоит в том, что некоторые химические элементы, особенно железо, имеют очень богатый линиями спектр. В табл. XXVI выписаны длины волн и интенсивности линий некоторых встречающихся в метеорах элементов и одновременно указаны полученные нами длины волн. Из сопоставления можно заметить, что совершенно несомненно присутствие железа, кальция и, может быть, кобальта.

Таблица XXVI

Лабораторные данные			Длины волн метеорного спектра	Лабораторные данные			Длины волн метеорного спектра
$\lambda_{лаб}$	элемент	интенсивность	$\lambda_{изм}$	$\lambda_{лаб}$	элемент	интенсивность	$\lambda_{изм}$
3719,9 Å	Железо	1000	3720 Å	4307,9 Å	Железо	1000	
3734,9	»	1000		4325,8	»	1000	4319
3737,1	»	1000	3744	4375,9	»	500	
3749,5	»	1000		4383,5	»	1000	4378
3758,2	»	700	3767	4415,1	»	600	4417
3815,8	»	700	3815	4427,3	»	500	
3841,0	»	500	3844	4466,6	»	500	
3859,9	»	1000		4476,0	»	500	4473
3865,5	»	600	3869	4549,7	Кобальт	600	
3933,7	Кальций$^+$	600	3934	4554,0	Барий$^+$	1000	
3968,5	»	500	3968	4555,4	Цезий	2000	4556
4118,8	Кобальт	1000		4629,4	Кобальт	600	
4121,3	»	1000	4130	4663,4	»	700	4638
4226,7	Кальций	500	4218	4840,3	»	700	
4254,4	Хром	5000	4251	4867,9	»	800	4858

Совпадения не полные, что делает анализ не совсем уверенным.

Глава V

ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ

§ 1. Инструкция для фотографических наблюдений Солнца

Визуальные наблюдения Солнца в телескоп (обязательно через светофильтр!) полезны для приобретения опыта наблюдателя, но не позволяют зафиксировать увиденную картину. Зарисовки пятен и факелов при проектировании Солнца на экран, передающие взаимное расположение и конфигурацию деталей солнечной поверхности, уже имеют документальную ценность и нередко используются в работе астрономов-специалистов. Фотографии Солнца являются прекрасными документами вечно меняющегося лика светила и представляют ценный фактический материал для выполнения исследовательских работ.

Хорошо организованные фотографические наблюдения Солнца потребуют от любителя-одиночки больших затрат сил, времени, средств и оставляют мало времени для исследований. Гораздо легче подобная задача может быть выполнена коллективами народных, школьных и вузовских астрономических обсерваторий.

Фотогелиограф и работа с ним. Для наблюдений Солнца пригодны телескопы любого размера, зеркальные и линзовые.

Получение хороших фотографий в большой степени зависит от мастерства наблюдателя и его знания возможностей инструмента. В принципе хорошие фотографии можно получить с любым телескопом.

В практике работ советской Службы Солнца хорошо зарекомендовали себя фотогелиографы АФР-3, входящие в комплект хромосферно-фотосферного телескопа АФР-2. Партия таких телескопов была выпущена в 1957 г. Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО). Фотогелиограф смонтирован на параллактическом штативе АПШ-5, снабженном часовым механизмом. На рис. 135 приводится оптическая схема телескопа.

Главное преимущество этого телескопа — небольшая длина трубы, равная 2,5 м, при эквивалентном фокусном расстоянии 9,08 м, что достигается применением телеобъектива. Он состоит из положительных линз O_1 диаметром 130 мм, и отрицательных линз O_2 диаметром 36 мм. В фокальной плоскости F строится изображение Солнца поперечником 75 мм. Фокусировка телескопа

достигается перемещением вдоль оптической оси линзы O_2. Установка фокусировки нечувствительна к изменениям температуры в пределах от —35° до +35°.

Конечно, в распоряжении любителя астрономии может оказаться телескоп другой системы, рефрактор или рефлектор. Для получения увеличенного изображения (по сравнению с фокальным) в рефракторе следует применить увеличительную систему, а в рефлекторе использовать фокус Кассегрена или Нэсмита.

Разрешающую силу телескопа найдем по формуле

$$\alpha'' = \frac{1}{40}\frac{\lambda}{D},$$

где λ — длина волны света в нм (1 нм = 10^{-9} м), D — диаметр объектива в см. Полагая $\lambda = 400$ нм, $D = 10$ см, находим $\alpha'' = 1'',0$. На снимках отчетливо прорабатывается грануляция с поперечником гранул $1''$—$1'',5$ и тонкая структура хромосферы.

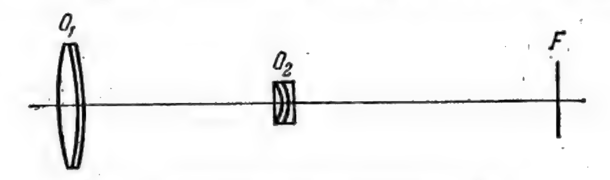


Рис. 135. Оптическая схема телескопа АФР-3.

Некоторым недостатком объектива является хроматическая аберрация, вследствие которой необходимо применять светофильтры, расположенные перед кассетой. Если использовать несенсибилизированные пластинки, чувствительные к сине-фиолетовым лучам, то применение светофильтров необязательно. В этом случае в результате пересечения кривой спектральной чувствительности и планковской кривой создается достаточно узкая полоса пропускания шириной 30 нм. В случае применения рефлектора хроматическая аберрация не возникает.

Качество снимка существенно зависит от времени экспозиции (выдержки). При хорошей прозрачности воздуха наиболее выгодные выдержки составляют 0,008—0,010 с. Фокусировка телескопа для данного сорта фотопластинок и светофильтра выполняется фотографическим путем. В телескопе используется секторный затвор с пружинным заводом. Установку выдержки по сравнению с нормальной можно увеличить в 10 раз. Затвор располагается за линзой O_2, где световой пучок имеет минимальную ширину. Недостатком вращающихся затворов являются завихрения воздуха в трубе. Поэтому, если делать серию снимков подряд, то первые снимки имеют более высокое качество, чем последующие.

В кассетной части телескопа, в 2—3 см перед фокальной плоскостью, располагается прямолинейная суточная нить, изготовленная из тонкой проволоки или капрона. Суточная нить

ориентирована параллельно небесному экватору и служит для измерения координат пятен и факелов. Для проведения наблюдений необходимо иметь хронометр или хорошо выверенные часы. Моменты времени снимков записываются с точностью до 1 минуты.

Фотографическая обработка снимков. Качество снимков существенно зависит от выбора фотографических материалов и лабораторной обработки снимков. В настоящее время в системе Службы Солнца используются несенсибилизированные пластинки типа Fu-5 фирмы ORWO (ГДР) размером 9×12 см. Максимум кривой спектральной чувствительности располагается вблизи $\lambda = 410$ нм. Эмульсионный слой имеет мелкое зерно, низкую чувствительность (0,5—5,0 ед. ГОСТ) и высокий коэффициент контраста. Тыльная сторона пластинок покрыта противоореольным слоем зеленого или оранжевого цвета, практически полностью устраняющего рассеяние света внутри пластинки.

При отсутствии противоореольного слоя величина рассеянного света внутри пластинки может достигать 5% от падающего потока, что приводит к понижению контраста снимка. Поэтому рекомендуется не пожалеть времени и сил на изготовление такого слоя. Наградой за труды будет более высокое качество фотографий.

Для проявления пластинок рекомендуется высококонтрастный гидрохиноновый проявитель по Фрерку, который является смесью изготовляемых заблаговременно растворов № 1, № 2 и воды:

состав раствора № 1: вода — 1000 см³, сульфит натрия кристаллический — 100 г, гидрохинон — 18 г;

состав раствора № 2: вода — 1000 см³, углекислый калий (поташ) — 150 г.

Проявитель смешивается из двух частей раствора № 1, одной части раствора № 2 и трех частей воды. Кроме того, добавляется небольшое количество 10-процентного раствора бромистого калия. Проявитель работает при температуре +18—20 °С, время проявления 4—5 минут. В объеме 0,3 литра проявителя можно проявить 10 пластинок размером 9×12. Наиболее хорошие фотографии получаются после того как в проявителе обработано 4—5 пластинок. Хорошо работающий проявитель имеет слегка желтоватый цвет.

После закрепления пластинка в течение 2—3 часов промывается для полного вывода из эмульсионного слоя остатков закрепителя. В противном случае пластинка непригодна для длительного хранения.

Определение координат и площадей пятен. В практике Службы Солнца и каталогах солнечной активности применяется кэррингтоновская система координат. Это чисто условная система сферических координат, жестко связанная с экватором Солнца и вращающаяся вместе с ним с видимой (синодической) скоростью вращения, в среднем равной 13°,2 в сутки.

Вследствие наклона оси вращения Солнца к плоскости эклиптики на угол 7°,15 и движения Земли по орбите в течение года

непрерывно меняется широта B_0 центра солнечного диска и угол наклона P оси вращения Солнца к направлению центрального меридиана. Величины B_0, P и L_0 — кэррингтоновская долгота центрального меридиана — публикуются в Астрономическом Ежегоднике и Астрономическом Календаре (Переменная часть) в разделе эфемерид для физических наблюдений Солнца.

Для определения координат пятен используют набор ортографических сеток (см. вкладку) для значений $B_0 = 0, \pm 1°, \dots$ $\dots \pm 7°$. С целью более точного измерения координат необходимо иметь набор таких сеток диаметром 25—50 см. Точность измерения координат с помощью сеток колеблется в пределах от 0° до 0,°5. Наибольшая ошибка определения широты φ, равная 0°,5, иногда может быть у деталей, расположенных вблизи центра диска. Причиной ошибки в этом случае является несоответствие выбранной координатной сетки истинному значению B_0.

Точность измерения долготы λ уменьшается по направлению к лимбу, вблизи которого она составляет 1—2° (для $r/R \gg 0{,}95$). В исследовательских работах координаты пятен, измеренные вблизи лимба, очень часто просто не учитываются. Досточно высокая точность измерения долгот достигается в пределах центрального круга радиусом $r/R \ll 0{,}7$.

При измерении координат пятен и факелов нет смысла добиваться очень высокой точности. Предел точности измерения φ и λ не может превышать разрешающую способность телескопа, равную 1″,0 (см. выше) и точность фиксации центра тяжести пятна или факела, равную 0°,1. Поэтому измерения φ и λ достаточно выполнять с точностью 0°,1 (0°,1 = 1,22 тыс. км = 1″,7). Использование ортографических сеток диаметром 25—50 см и соблюдение ряда дополнительных мер позволяет очень быстро измерять координаты пятен φ и λ с точностью до 0°,1.

Техника измерения координат следующая. Изображение фотогелиограммы проектируется на ортографическую сетку, которая ориентируется так, чтобы линия экватора была параллельна суточной нити. Затем сетка поворачивается на угол P. Если он положительный, то северный полюс сетки нужно повернуть к востоку на величину, равную P, а если P — отрицательный, то сетка поворачивается к западу.

Положение детали A (рис. 136) определяется относительно точки B, расположенной на пересечении линий сетки. Координаты точки B: $\varphi_B = +20°{,}0$, $l_B = +20°{,}0$ считываются непосредственно. Затем определяются прибавки к координатам:

$$\varphi_A = +\varphi_B + \delta\varphi = +25°{,}2, \quad l_A = +l_B + \delta l = +26°{,}2.$$

Для измерения $\delta\varphi$ и δl необходимо пользоваться метрической линейкой, которая располагается параллельно координатным линиям. Гелиографическая долгота λ находится по формуле

$$\lambda = L_0 + l,$$

где L_0 — кэррингтоновская долгота центрального меридиана Солнца, рассчитанная для момента получения снимка с помощью Астрономического Ежегодника (календаря). Величина l считается положительной к западу и отрицательной к востоку.

Для определения площадей пятен можно использовать прямоугольные сеточки — палетки, помещаемые в поле зрения измерительных микроскопов. Определение площади сводится к подсчету числа клеточек, занятых пятном. Площадь наименьшей

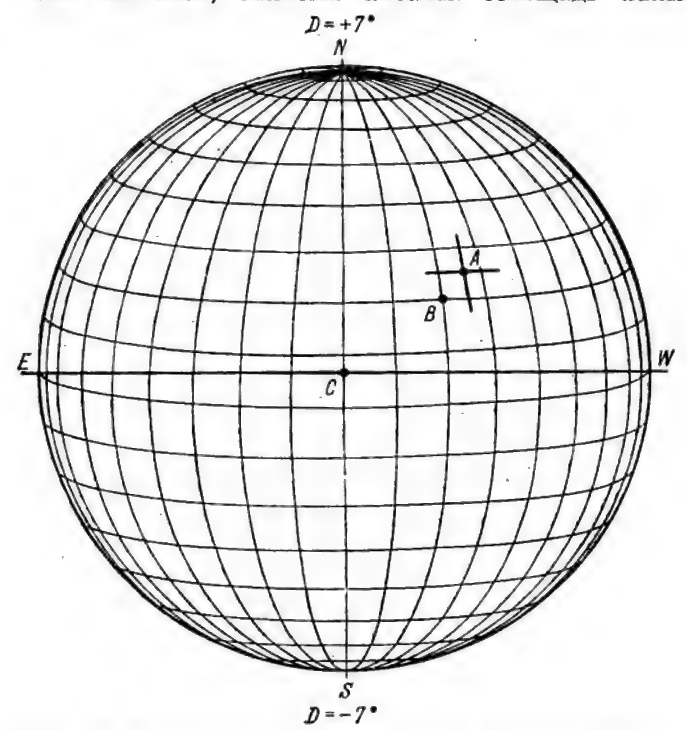


Рис. 136. К определению координат деталей солнечного диска.

клеточки должна составлять примерно $5 \cdot 10^{-6}$ площади солнечного диска.

Фотометрические измерения. Фотографии Солнца позволяют измерять относительный контраст деталей и затем рассчитать их температуру. Для организации фотометрических работ в дополнение к телескопу нужно иметь ступенчатый ослабитель и микрофотометр. Девятиступенчатые платиновые ослабители выпускаются Ленинградским оптико-механическим объединением. Ослабитель закрепляется внутри вкладыша, устанавливаемого перед кассетой. Изображение ослабителя впечатывается рядом с изображением Солнца. Для этого сначала делается обычный снимок. Затем в кассетной части устанавливается вкладыш с ослабителем и на

той же пластинке при том же времени экспозиции впечатывается изображение ослабителя. Кроме снимка с обычной экспозицией, делается снимок околосолнечного ореола с увеличенной в 10 раз выдержкой. Его также калибруют с помощью ослабителя. Изображение ослабителя используется для построения характеристической кривой [1], служащей для определения относительной интенсивности двух деталей I'/I. При использовании высококонтрастных пластинок точность измерения относительной интенсивности составляет 0,2%.

Измеренная с помощью фотогелиограммы относительная интенсивность I'/I пятна в дальнейшем должна быть исправлена для исключения рассеянного света. Земная атмосфера, с одной стороны, действует как фильтр, ослабляющий солнечный свет, а с другой стороны, — как дополнительный источник излучения. Рассеянный земной атмосферой свет воспринимается как околосолнечный ореол, имеющий свое продолжение на диске Солнца. Согласно Т. В. Крат распределение интенсивности в ореоле описывается формулой

$$\Gamma(\varphi) = A_0 + p_2 e^{-a_2\varphi^2},$$

где A_0, p_2, a_2 — постоянные величины, φ — угловое удаление от центра солнечного диска. Для определения $\Gamma(\varphi)$ В. Е. Степановым была составлена удобная таблица, входом в которую является удаление r/R от центра диска в долях его радиуса.

r/R	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\Gamma(\varphi)$	2,1	2,1	2,05	1,95	1,85	1,75	1,65	1,50	1,30	1,15	1,0
r/R	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	
$\Gamma(\varphi)$	0,9	0,6	0,5	0,45	0,3	0,3	0,25	0,2	0,2	0,15	

Интенсивность ореола на лимбе принята равной 1,0, интенсивность ореола в центре диска в 2,1 раза больше.

Для учета поправки Δ за околосолнечный ореол сначала с помощью второго (передержанного) снимка измеряют интенсивность ореола на лимбе (в процентах по отношению к интенсивности фотосферы в центре солнечного диска). Затем с помощью таблицы для данного удаления r/R пятна от центра диска находят поправку за ореол Δ.

Наложение рассеянного света ореола на действительное изображение Солнца приводит к понижению контраста. Пусть истинная относительная интенсивность солнечного пятна есть $\lambda = I'/I$, где I' и I — истинные интенсивности пятна и фотосферы соответ-

ственно, и пусть Δ — интенсивность ореола в области пятна. Тогда наблюдаемая относительная интенсивность λ_* пятна будет равна

$$\lambda_* = \frac{I'_*}{I_*} = \frac{I' + \Delta}{I + \Delta},$$

откуда находим

$$\lambda = \lambda_* \left(1 + \frac{\Delta}{I}\right) - \frac{\Delta}{I}.$$

Эта формула позволяет исключить рассеянный свет ореола. Величины λ и λ_* тем ближе между собой, чем ближе между собой значения I' и I и чем меньше величина Δ. Фотометрические наблюдения рекомендуется проводить при не слишком плотных ореолах, когда величина Δ не превышает 10% в центре солнечного диска.

Вторым источником рассеянного света являются атмосферные дрожания, также понижающие контраст деталей.

Качество снимка оценивается по шкале, предложенной Н. В. Демидовой и А. Н. Быстровой:

1°. Совершенно четкие волокна полутени пятна.

2°. Четкость волокон слегка ухудшена.

3°. Волокна размыты, но еще различаются. Волокна, входящие в тень, совершенно отчетливы.

3°,5. Видны лишь волокна, входящие в тень.

4°,0. Исчезает зубчатый характер границы тени и полутени.

5°,0. Для небольших пятен уменьшается различие между тенью и полутенью.

Задачи исследований. Фотографии Солнца можно использовать для определения координат деталей, их размеров, формы и относительной интенсивности. Иногда эти данные являются вспомогательным, справочным материалом для выполнения других работ, например, спектральных исследований, а иногда являются исходным материалом для научной работы. Ниже предлагается перечень самых разнообразных исследовательских задач, рекомендуемых для народных обсерваторий.

Большой интерес и важное значение имеет проблема движения вещества на Солнце. Эти движения охватывают довольно широкий диапазон характерных размеров и скоростей. Одна и та же деталь, например, пятно, одновременно может участвовать в нескольких видах движений. Исследователь должен выделить каждый вид движения в чистом виде и изучить его особенности.

К числу *глобальных движений* относятся меридиональная циркуляция фотосферных и, возможно, подфотосферных слоев, вариации закона вращения Солнца, движения, связанные с 11-летним циклом. Они осуществляются с довольно малыми скоростями, порядка 1 м/с, охватывают все Солнце в целом или отдельно его северное и южное полушария. Для изучения

таких движений требуются многолетние наблюдательные данные (десять лет и более). Изучением движений этого вида астрономы занимаются более ста лет. Исследование глобальных движений вещества на Солнце представляет большой интерес для теории внутреннего строения светила и его циклической деятельности. Наибольший интерес представляет изучение особенности меридиональной циркуляции вещества и вращения Солнца на различных широтах, их взаимосвязь, изменение со временем в связи с фазой 11-летних циклов активности, особенности циркуляции вещества в северном и южном полушариях Солнца, распространение меридиональной циркуляции в подфотосферные слои и т. п.

Существование крупномасштабных фотосферных потоков с линейным размером порядка 100 тыс. км и скоростью порядка 1° в сутки впервые было обнаружено английским астрономом А. Хартом и советскими учеными В. Е. Степановым и М. А. Клякотко в 50-х годах. Такие потоки составляют систему локальных ветров, на которые распадается его общая циркуляция. К сожалению, мы практически ничего не знаем о системе крупномасштабных потоков и исследования в этой области, безусловно, принесут много новых сведений. Наиболее простым способом обнаружения фотосферных потоков является анализ собственных движений групп пятен по поверхности Солнца. Однако группы пятен, как правило, располагаются в низких широтах, имеют относительно небольшие размеры и довольно быстро изменяются, что затрудняет изучение крупномасштабных потоков. Поэтому желательно разработать какие-то новые способы регистрации этих потоков.

Движение вещества в активных областях постоянно привлекает внимание астрономов-специалистов. Получен ряд интересных результатов об относительном движении пятен в группах, о движении вещества вокруг пятен, о турбулентных и колебательных движениях вещества в активных областях. Тем не менее в этой проблеме еще много нерешенных вопросов. Главной причиной этого является многообразие путей развития активных процессов. Большой интерес вызывают движения фотосферы в активных областях во время таких нестационарных процессов, как хромосферные вспышки и извержение протуберанцев. Изучение движений фотосферы в активных областях следует выполнять по фотографиям высокого качества при большой частоте их повторения: снимки через 10—15 минут или замедленная киносъемка. Успех дела в большой степени зависит от применения оригинальных методов исследования.

Особую группу составляют задачи, связанные с изучением структуры солнечной поверхности. Наиболее легкодоступные для наблюдений объекты, пятна, изучены уже сравнительно подробно. Большой интерес представляет изучение малоконтрастных образований в фотосфере. Так, еще мало известно о структуре и динамике факелов, лучше всего наблюдаемых около краев солнечного

диска. В последние годы внимание ученых привлекают крупномасштабные фотосферные образования: сверхгранула и гигантская гранула.

Сверхгранула была открыта американским ученым Лейтоном в 60-х годах при наблюдении поля лучевых скоростей. Эти образования имеют характерный размер порядка 50 тыс. км, существуют по нескольку суток и, вероятно, являются результатом конвективных движений в поверхностном слое атмосферы Солнца толщиной 100 тыс. км. Физические особенности этого слоя изучены еще не достаточно подробно. По мнению В. Ф. Чистякова, сверхгрануляционную структуру фотосферы можно изучать с помощью карт изофот, построенных с использованием фотогелиограмм. Сверхгранулы — это динамичные образования без резких границ и их выявление и исследование сопряжено со значительными трудностями.

Реальность гигантских гранул с поперечником, сравнимым с величиной солнечного радиуса, подлежит проверке, которая открывает перед исследователем самые широкие возможности.

Грануляционная структура фотосферы уже многие годы находится в центре внимания ученых. Согласно баллонным наблюдениям М. Шварцшильда средняя продолжительность жизни гранул равна восьми минутам и несколько превышает 5-минутный период пульсаций лучевых скоростей в фотосфере. Наибольшее число гранул имеет поперечник 1″,5. Меньшие и бо́льшие по размерам гранулы встречаются реже. Согласно В. А. Крату односекундная грануляция имеет тенденцию объединяться в группы гранул диаметром порядка 5—10″, между которыми находятся относительно «пустые промежутки». Эта особенность также мало изучена.

В пионерской и единственной работе У. Беккера (1959) сделана попытка проследить на фотогелиограммах основания ряда чисто хромосферных образований, например, водородных волокон. В ней затронут мало исследованный вопрос о закономерностях в расположении фотосферной грануляции.

Фотографии солнечной поверхности можно использовать для построения карт изофот. В работах Брея и Лоухеда (Солнечные пятна — М.: Мир, 1967), В. Ф. Чистякова (в кн.: Солнечная активность. Результаты МГГ.—М., 1965) карты изофот были использованы для изучения структуры солнечных пятен, движения фотосферы вокруг них и фотометрической взаимосвязи пятен и фотосферы. Установлено, что фотосфера вокруг пятен находится в состоянии вихревого антициклонического движения. Отдельные детали — «яркие элементы» размером 7—9″ имеют период полураспада двое суток. Представляет интерес проследить судьбу таких образований в спокойных участках фотосферы, вдали от активных областей. Главное затруднение здесь — это отсутствие достаточно надежных критериев для отождествления через суточный интервал таких весьма эфемерных образований фотосферы, какими являются яркие элементы.

К категории частных исследовательских задач относятся вопросы, связанные с изучением явления Вильсона в солнечных пятнах, восточно-западной асимметрии пятен, изучение рефракции в атмосфере Солнца, определение коэффициента преломления и т. п. Ряд частных фотометрических задач можно решить при наблюдении частных и полных солнечных затмений. Некоторые из них рассмотрены в книге В. П. Цесевича «Что и как наблюдать на небе».

Литература

1. Витинский Ю. И. Морфология солнечной активности. — М.: Наука, 1966.
2. Клякотко М. А. Задачи и методика наблюдений Солнца. — М.: Наука, 1971.

§ 2. Инструкция для наблюдений Луны

Наблюдения Луны отличаются от наблюдений планет и многих других светил тем, что их можно вести с очень скромными средствами. Поэтому они рекомендуются начинающему наблюдателю в качестве первого опыта астрономических наблюдений. При наличии достаточно большого телескопа они, несмотря на детальную изученность топографии Луны, могут представить и научный интерес.

На поверхности Луны реальные изменения топографии не наблюдаются. Этим Луна отличается от таких светил, как Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн. Зато ежемесячные периодические изменения в освещении сильно меняют внешний облик различных лунных ландшафтов, что в сочетании с изменениями в расположении Луны по отношению к наблюдателю, являющимися результатом так называемой либрации, приводит к изменению условий наблюдения и изучения каждого лунного объекта, что необходимо учитывать при сравнении своих наблюдений с выполненными ранее.

В то же время изредка на Луне наблюдаются кратковременные явления (events), отражающие ее внутреннюю активность. Примером такого явления может служить наблюдавшееся Н. А. Козыревым 3 ноября 1958 г. извержение газов из центральной горки кратера Альфонс. Для регистрации подобных явлений организована Международная Служба лунных явлений, в которой принимают участие и любители астрономии и о которой будет рассказано ниже.

Наблюдения Луны, выполняемые наблюдателями-любителями, могут быть направлены к решению одной из следующих трех задач:

1. Познавательное изучение лунной поверхности и условий ее освещения, преследующее учебные и научно-просветительские цели.

2. Тренировка наблюдателя в астрономических наблюдениях вообще и в обнаружении и зарисовке мелких тонких деталей в частности.

3. Научные наблюдения. В ходе этих наблюдений получают материал, который в дальнейшем может быть использован для научного исследования.

Общее ознакомление с лунной поверхностью. Наблюдателю Луны следует начать свою работу с изучения основных элементов лунной топографии, так как прежде всего он должен легко ориентироваться на карте видимого полушария Луны.

Изучение лунной топографии лучше всего вести постепенно, концентрически, последовательно переходя от более крупных и заметных деталей к менее существенным. Начать лучше всего с того, что в один из дней полнолуния, рассматривая диск Луны невооруженным глазом, познакомиться с общими контурами главных морей и нанести их в виде эскиза на приготовленный заранее круг. Сделанные зарисовки сравнивают затем с простейшей картой Луны и отмечают на них принятые в селенографии названия морей. Когда общие контуры последних усвоены достаточно прочно, можно перейти к изучению менее крупных деталей, для чего следует воспользоваться 6-кратным биноклем. В бинокль можно различить небольшие моря и озера, заливы и ответвления главных морей, градации яркости в последних, а также менее темные участки, называемые в селенографии «болотами». С помощью бинокля можно также разглядеть и важнейшие кратеры, выделяющиеся в полнолуние в виде черных точек (Гримальди, Риччоли, Платон, Шиккард) либо в виде светлых пятнышек (Коперник, Кеплер, Аристарх, Тихо, Манилий и др.). В бинокль видны и светлые лучи.

Все эти детали также зарисовывают в форме эскизной схемы и сопоставляют с картой Луны для изучения их названий.

Следующую ступень составляет изучение рельефа, представленного кратерами, цирками, горными хребтами и пиками. Для этого надо воспользоваться телескопом с увеличением не менее 50 и все внимание сосредоточить на зоне, прилегающей к терминатору. В соответствии с перемещением последнего, изучение всего видимого полушария Луны при ежедневном наблюдении занимает две недели (от новолуния до полнолуния), а с учетом изменчивости погоды и необходимости повторных просмотров оно обычно растягивается на несколько месяцев. Параллельно с телескопическими наблюдениями рекомендуется знакомиться с описаниями изучаемых лунных ландшафтов, приводимыми в специальных монографиях. Изучение краевых зон лунного диска занимает еще более длительное время, так как приходится дожидаться совпадения нужного положения терминатора с соответствующей либрацией.

Детальное изучение топографии Луны. Общая топография Луны изучена давно. Изданы многочисленные карты и атласы

лунной поверхности, опубликованы каталоги широт и долгот различных точек, а также высоты лунных гор.

За последние годы благодаря использованию автоматических лунных станций и искусственных спутников Луны достигнуты большие успехи и в области детальной топографии лунных образований. Поэтому ценность любительских наблюдений здесь невелика, хотя и не равна нулю.

Астроном-любитель может браться за эту задачу, если он располагает достаточно сильным инструментом, поскольку изучение деталей требует увеличения в 200—300, а еще лучше в 500—600 раз.

Для детального топографического исследования необходимо выбрать небольшой и строго ограниченный район лунной поверхности, например, отдельный кратер, горную вершину, трещину и т. п.*). Выбранный объект необходимо тщательно наблюдать и зарисовать во все те ночи, когда он находится сравнительно близко от терминатора, вследствие чего можно видеть тени неровностей, показывающие структуру рельефа. Для каждого объекта период наблюдений наступает два раза в месяц и продолжается 3—4 дня.

Приступая во время наблюдений к зарисовке, нужно сначала нанести на бумагу общие контуры всего объекта и затем добавить к нему наиболее существенные, легко различимые детали. После того как такой упрощенный рисунок изготовлен и проверен повторным сличением с видимой в поле зрения телескопа картиной, можно приступить к нанесению мелких и мельчайших подробностей: отдельных повышений, понижений, ямок, бугорков, извилин, трещин и т. п. При этом рекомендуется, глядя в окуляр, выжидать моменты успокоения, прояснения изображений и, быстро схватывая появляющуюся в такие моменты тонкую структуру рельефа, наносить ее на рисунок.

Наблюдения одной и той же выбранной области надо вести длительное время, например, год и больше. Перед наблюдением никогда не надо просматривать прежние зарисовки, так как это создает предвзятость. Просмотр и сопоставление всех рисунков серии делается только после окончания всего ряда наблюдений.

Конечным этапом такой работы является составление детальной эскизной карты. За основу для нее берут либо увеличенную выкопировку из общей карты Луны или, лучше, карту из крупномасштабного атласа. По контурам этой основы условными значками, по возможности совпадающими с принятыми для географических карт (гашюры, штриховка, туш вка), наносят мелкие детали по рисункам. Рисунки надо делать в специальном альбоме.

Из деталей, представляющих интерес и могущих дать материал для научного исследования, упомянем следующие:

---

*) При выборе объекта следует руководствоваться указаниями, содержащимися в астрономической литературе, и рекомендациями ВАГО.

1. Отдельные глыбы на поверхности морей. Возможно, что это — выбросы из крупных кратеров. Желательно наносить положения таких глыб на подробную карту Луны и одновременно определять их ориентацию. Собрав сведения о большом количестве таких объектов, можно выяснить их генетическую связь с кратерами.

2. Вершинные кратеры. Так называют небольшие кратеры (жерла), находящиеся на вершинах центральных горок кратеров или отдельных гор. Всего на Луне их известно около 50, но, вероятно, найдены и описаны далеко не все.

3. Вторичные кратеры, образованные падением крупных осколков, выброшенных при формировании главного кратера. Изучать их расположение надо так же, как и в случае отдельных глыб.

Фотографирование Луны. Съемка Луны обычными любительскими фотоаппаратами не представляет интереса, так как дает слишком мелкое изображение. Диаметр изображения лунного диска, выраженный в сантиметрах, получается на снимке примерно равным фокусному расстоянию F объектива, выраженному в метрах. Более точное соотношение имеет вид

$$d = \frac{F}{114}.$$

Следовательно, чтобы получить изображение Луны диаметром хотя бы в 1 см, нужен объектив с фокусным расстоянием в 1 м. Очень удобен для такой съемки телеобъектив типа МТО-1000, имеющийся в продаже в фотомагазинах и легко соединяемый с фотоаппаратом типа «ФЭД» или «Зенит». Такой же снимок можно получить и в фокусе телескопа с объективом диаметром 60—100 мм. Для этого надо приладить на окулярном конце телескопа, из которого удален окуляр, фотографическую камеру, из которой вывинчен объектив, но оставлен на месте затвор. Фокусировка камеры делается по матовому стеклу путем перемещения окулярного конца трубы. Для съемки выбираются изохроматические или панхроматические пластинки наивысшей чувствительности и фотографирование выполняется через слабый желтый светофильтр. Назначение этого фильтра — задерживать ультрафиолетовые и фиолетовые лучи, к которым объектив визуальной трубы не ахроматизован, а фотографическая пластинка очень чувствительна. Съемка делается моментальная. Чем короче экспозиция, тем лучше, потому что тем меньше сдвиг, вызванный суточным движением Луны.

Для получения более крупного снимка Луны необходимо пользоваться окулярным увеличением. Объектив фотоаппарата удаляется, как и в предыдущем случае, но окуляр телескопа оставляется и фотографическая камера прикрепляется уже к окулярной трубке. Моментальная выдержка в этом случае невозможна, так как увеличенное изображение получается недостаточно

ярким. Выдержку, подбираемую опытной съемкой, приходится делать порядка 0,5—5 с, а так как Луна за это время заметно смещается вследствие суточного движения, фотографирование с увеличением можно вести только на телескопе, снабженном часовым механизмом.

Наиболее хорошим вариантом установки для получения снимков Луны является экваториал, снабженный специальной увеличительной камерой. В такой «лунно-солнечной» камере, укрепляемой на окулярном конце телескопа вместо окуляра, увеличение изображения производится специально рассчитанной оптикой.

Разумеется, всякое изображение Луны, полученное на негативе, можно потом печатать с увеличителем, получая позитив еще большего масштаба.

Определение координат лунных объектов. Положения различных деталей на поверхности Луны — горных вершин, кратеров, светлых и темных пятен, окраин морей и т. п. — аналогично точкам земной поверхности выражают двумя координатами, которые в данном случае называются *селенографическими*. *Селенографическая широта b* отсчитывается от лунного экватора, к северу от которого (в сторону Моря Дождей и Моря Ясности) она считается положительной, а к югу (в сторону кратера Тихо) — отрицательной. *Селенографическая долгота l* отсчитывается от начального меридиана, который на лунном диске всегда проходит недалеко от видимого центра последнего (см. § 15 гл. I). К востоку от него (в сторону Моря Кризисов) долготы будут положительными, а к западу (в сторону Океана Бурь) — отрицательными *).

Существует много карт и атласов Луны, по которым можно определить широты и долготы тех или иных точек, пользуясь имеющейся на карте сеткой меридианов и параллелей. Могут встретиться случаи, когда наблюдатель захочет самостоятельно получить координаты какого-либо образования, не нанесенного на карте. Если довольствоваться точностью 1—3°, то для получения селенографических координат можно воспользоваться готовой сеткой, на которой вычерчено расположение меридианов и параллелей (см. приложение VI).

Работа начинается с того, что получают снимок Луны или же делают хороший и точный ее схематический рисунок. Необходимо, чтобы диаметр изображения лунного диска был равен в точности 10 см (диаметр сетки), что в случае фотографического снимка достигается соответствующим увеличением при печати негатива. На снимке или рисунке обязательно должно быть нанесено направление суточного движения светил. При фотографировании это осуществляется путем получения следа от звезды при неподвижном часовом механизме. При визуальном наблюдении жела-

*) Направления «восток» и «запад» на Луне до 1961 г. определяли по отношению к земным точкам горизонта; теперь принято употреблять эти понятия в соответствии с явлениями восхода и захода Солнца на самой Луне.

тельно иметь нить, натянутую в фокусе окуляра и потому резко видимую вместе с Луной в поле зрения. Вращением окулярной трубки нить ориентируется строго по направлению суточного движения, что тоже делается по звезде. Нить зарисовывается вместе с лунным диском и его деталями.

На снимке Луны, или ее схематическом рисунке, из центра диска на прямую, дающую направление суточного движения, опускается перпендикуляр. Это будет изображение круга склонения, проходящего через центр лунного диска. Далее, из Астрономического Календаря ВАГО выписывают для момента наблюдения Луны физические координаты: селенографические долготу λ_0 и широту β_0 центра диска Луны и позиционный угол центрального меридиана P. Угол P при помощи транспортира строится при центре изображения Луны, причем, если он дан со знаком «+», то он откладывается от северного конца круга склонения к западу (против часовой стрелки или в сторону Залива Росы), а если со знаком «—», то к востоку (по часовой стрелке или в сторону Моря Ясности). Полученная на чертеже прямая будет представлять собой центральный меридиан Луны. Далее из 8 сеток выбирается та, которая по значению широты центра диска B_0 ближе всего к выписанному из Календаря значению β_0. Сетка накладывается на изображение Луны так, чтобы ее центральный меридиан совпадал с линией меридиана, начерченного на Луне. После этого координаты деталей отсчитываются прямо по сетке карты.

Долгота l_M отсчитывается от центрального меридиана и ей приписывается знак «+» в западной половине лунного диска (в сторону Моря Кризисов) и знак «—» в восточной половине (в сторону Океана Бурь). После этого долгота l, считаемая от начального меридиана, получается по формуле

$$l = l_M + \lambda_0.$$

Более точные определения селенографических координат требуют измерения снимков на измерительной машине и последующих вычислений по формулам, которые читатель найдет в специальной литературе.

Определение высоты лунных гор. Высота лунных гор всегда определяется от уровня близлежащей равнины. Для нахождения высоты неровностей, расположенных близ центра диска, существуют два сравнительно простых метода, основанных на наблюдениях, выполняемых в те дни, когда через данную деталь проходит линия терминатора.

1. *Метод длины тени.* Находясь вблизи терминатора, всякая возвышенность отбрасывает в сторону последнего тень, которая тем длиннее, чем ближе терминатор. Длина тени d определяется линейной высотой H горы и угловой высоты h Солнца над горизонтом для данной точки поверхности Луны:

$$d = H \operatorname{ctg} h.$$

Для того чтобы воспользоваться этим соотношением, поступают следующим образом. Участок лунной поверхности, содержащий изучаемую возвышенность, ее тень, ряд крупных соседних деталей и прилегающий ко всему этому участок терминатора, тщательно зарисовывается, причем особое внимание обращается на точную передачу относительных размеров. Затем по нанесенным деталям, например по поперечникам кратеров, находят масштаб рисунков (т. е. число километров лунной поверхности, соответствующее одному миллиметру на рисунке). Длина тени d измеряется в миллиметрах, которые потом по масштабу переводятся в километры. Для определения высоты Солнца проще всего нанести участок терминатора на карту Луны и, пользуясь имеющейся на карте сеткой меридианов, найти угловое расстояние горы от линии терминатора в градусах. Легко понять, что оно и будет искомой высотой Солнца. После этого высота горы H, выраженная в километрах, находится по формуле

$$H = d \operatorname{tg} h.$$

Этот способ можно применять только в центральных частях диска, так как ближе к его краю измеренная длина тени будет укорочена перспективой, что требует введения специальных поправок.

2. *Метод появления и исчезновения вершин за линией терминатора.* Отдельные горные вершины и гребни горных хребтов освещаются Солнцем уже тогда, когда окружающая равнина не освещена. Благодаря этому они появляются в виде светлых точек и черточек за линией терминатора на фоне темной части диска Луны. Задача наблюдений состоит в том, чтобы найти то угловое расстояние γ от линии терминатора, на котором появляется или исчезает вершина. Понятно, что заметить исчезновение легче, чем появление. Наблюдатель должен в соответствующий момент тщательно нанести линию терминатора на лунную карту.

Затем циркулем измеряется расстояние от детали до терминатора, которое при помощи имеющейся на карте сетки выражается в градусах. Это и будет величина γ. Расчет высоты делается по формуле

$$H = \frac{1}{2} R \operatorname{tg}^2 \gamma,$$

где R — радиус Луны, равный 1738 км.

Визуальные оценки яркости деталей. Одной из доступных для астронома-любителя задач является определение относительных яркостей различных образований лунной поверхности в условной десятибалльной шкале. Такие оценки можно производить только в дни полнолуния и при сравнительно слабых увеличениях, а именно таких, при которых весь лунный диск, или хотя бы большая его часть, помещается в поле зрения телескопа. Список объектов лунной поверхности, определяющих баллы шкалы яр-

костей, мы приводим здесь. В этой шкале балл 1 соответствует наиболее темным участкам диска полной Луны, к числу которых относится дно цирка Гримальди, некоторые очень темные пятна в Океане Бурь и др. Балл 10 присвоен наиболее яркому объекту на Луне — центральной горке кратера Аристарх.

Шкала баллов яркости

Балл яркости	Объекты	
	основные	дополнительные
1,0	Дно Гримальди, Риччоли	
1,5	Дно Бошковича	Дно Билли, Лемонье, Цупуса
2,0	Дно Юлия Цезаря, Крюгера, Эндимиона	Дно Фурье
2,5	Дно Питата, Ма́рия	Дно Озу, Гиппала, Витрувия
3,0	Дно Тарунция, Плиния, Пэрри, Флемстида, Теофила и Меркатора	
3,5	Дно Ганзена, Архимеда и Мерсения	
4,0	Дно Птолемея, Манилия, Герике	
4,5	—	Окрестности Аристилла
5,0	Вал Араго, Ландсберга, Буллиальда; окрестности Кеплера	Окрестности Архимеда
5,5	Вал Пикара, Тимохариса; лучи Коперника	
6,0	Вал Макробия, Канта, Бесселя, Мёстинга и Флемстида	
6,5	—	Вал Лангрена, Теэтета и Лагира
7,0	Вал Теона младш., Ареадея, Вихмана и Боде В	Вал Кеплера
7,5	—	Вал Евклида, Укерта и Гортензия
8,0	Вал Година, Коперника и Боде	
8,5	Вал Прокла, Боде А, Гиппарха С	Вал Мерсения С
9,0	—	Вал Мерсения В, Цензорина, Дионисия и Мёстинга
9,5	Дно Аристарха	
10,0	Центральная горка Аристарха	

Приступая к наблюдениям, надо прежде всего тщательно изучить все объекты, перечисленные в таблице, найти их сначала на карте, потом на хороших фотографиях полной Луны и, наконец, на лунном диске в натуре. Полезно помнить наизусть не только расположение и название каждого объекта, но и соответствующий ему балл шкалы.

Само наблюдение состоит в том, что, составив заранее список объектов, для которых будут производиться наблюдения яркости, находят эти объекты сначала на карте, а потом на Луне. Сделать

это не всегда просто, потому что многие детали рельефа, как, например, отдельные вершины, мелкие кратеры и т. п., легко отыскиваемые при косом освещении, в полнолуние опознаются с большим трудом. Далее, каждая деталь сравнивается с объектами шкалы, и среди последних ищут те объекты, которые кажутся одинаково яркими с изучаемой деталью. Балл шкалы, соответствующий этим объектам, и будет выражением яркости изучаемого образования. При этом может случиться, что разные объекты приведут к разным значениям балла яркости. Например, одна и та же деталь может показаться наблюдателю одинаковой по яркости с объектами, для которых в таблице указаны баллы 4,5, 5,0 и 5,5. В этом случае нужно выписать все полученные оценки и взять их среднее арифметическое, т. е. в приведенном выше примере 5,0. Если наблюдатель ставит своей задачей изучение яркости очень маленьких объектов, которые при слабом увеличении не видны, то приходится прибегать к большому увеличению, а это влечет за собой то затруднение, что в поле зрения помещается лишь небольшая часть лунной поверхности, так что все или многие объекты, приведенные в таблице, оказываются вне поля зрения и сравнение с ними становится невозможным. В этом случае в окрестностях изучаемых объектов выбирают ряд крупных образований примерно одинаковой с ними яркости, и для них путем последующего сравнения с объектами шкалы при малом увеличении находят значения балла. Яркость мелких образований получается, таким образом, путем сравнения с этими вспомогательными объектами.

Работа будет представлять большую ценность в том случае, если программа наблюдений выбирается целеустремленно. Можно, например, поставить себе задачей составление каталога яркостей валов всех кратеров, включая очень мелкие, или центральных горок кратеров, или их дна.

Моря только с первого взгляда кажутся однородными по своей яркости. Внимательное изучение каждого из них обнаруживает сложный узор из пятен различной яркости. Составление карт таких пятен и определение баллов яркости их также представляет интересную и нужную задачу.

Наблюдения «кратковременных лунных явлений». Ряд неопровержимых свидетельств в пользу реальности кратковременных явлений на Луне, полученных из наблюдений последних лет, заставил американских и английских наблюдателей разработать специальную программу наблюдений с целью регистрации подобных явлений. Большая протяженность нашей страны по долготе делает особенно желательным включением советских любителей астрономии в работу по этой программе.

Для наблюдений надо выбрать несколько «подозрительных» объектов и систематически просматривать их каждый ясный вечер (или ночь) по нескольку раз, сопровождая наблюдения зарисовками.

«Явлением» следует считать:

а) изменение цвета или яркости какой-либо лунной области или детали,

б) помутнение очертаний лунных деталей (разумеется, не из-за замутнения земной атмосферы!),

в) появление и исчезновение светлых или темных пятен, ранее не наблюдавшихся.

Приведем перечень деталей, заслуживающих внимания в этом отношении:

Аристарх	Тимохарис
Альфонс	Тихо
Гассенди	
Геродот	Платон
Линней	Шиккард
Пикар	Фра Мауро
Росс D	Мыс Агар (в Море Кризисов)

Прежде чем приступать к наблюдениям по программе «кратковременных явлений», надо тщательно изучить намеченные районы и детали в их «нормальном» виде, при разных фазах Луны, т. е. при различном угле падения солнечных лучей. На такое ознакомление уйдет минимум месяц, а с учетом превратностей погоды и других обстоятельств — 2—3 месяца. Только после этого можно будет приступать к систематическим наблюдениям по намеченной программе.

В случае наблюдения какого-либо кратковременного явления надо сообщать о нем телеграммой в астрономическую секцию ЦС ВАГО (103009, Москва, К-9, абонементный ящик 918) с указанием часа и минуты наблюдения по московскому времени, характера и длительности явления. Пример текста телеграммы: «Изменение цвета дна Гассенди 4 июля 23 часа 37 минут течение 40 минут потом облака Иванов». Вслед за телеграммой по тому же адресу авиапочтой высылается подробное описание явления с рисунками. Крайне желательно было бы получить серию фотографий области, где наблюдалось явление, с различными светофильтрами (от синего до красного). Для контроля такую же серию надо получить после окончания явления, а также на следующую ночь.

Лунные явления очень редки и не надо обольщать себя надеждой, что их удастся заметить в большом количестве. Особенно важно наблюдать близ эпох перигея и апогея Луны, даты которых указываются в Астрономическом Календаре.

Литература

1. Сытинская Н. Н. Луна и ее наблюдение. — М.: Гостехиздат, 1956.

2. Шемякин. М. М. О закономерности в расположении и размерах кратеров в кратерных цепочках на Луне. — Астрон. вестник, 1969, т. 3, № 2, с. 65.

§ 3. Инструкция для наблюдений лунных затмений

Затмения Луны происходят сравнительно редко, и в то же время каждое затмение по распределению яркости и цвета в земной тени и полутени своеобразно. Решение проблем, связанных с физической стороной явления лунного затмения и, в частности, с влиянием изменений земной атмосферы на яркость и цвет тени, требует обширного и однородного материала. Часто случается, что по характеру географических условий видимости данного затмения или по условиям погоды ни одна из обсерваторий не может его наблюдать. В этих случаях хорошо поставленные любительские наблюдения приобретают большую ценность. Поэтому участие в регулярных наблюдениях лунных затмений наблюдателей-любителей особенно важно.

Программа наблюдений лунных затмений. Программа наблюдения лунного затмения зависит от тех средств, которыми располагает наблюдатель, но во всех случаях его цель состоит в изучении того эффекта, который вызывается земной атмосферой и от которого зависит яркость и цвет участков лунного диска, погруженных в земную тень или полутень.

Подробные сведения о лунных затмениях сообщаются в астрономических календарях — ежегодниках (см. также § 24, гл. I).

В каждый данный момент затмения степень покрытия диска Луны земной тенью выражается *фазой затмения* Ф. Величина фазы определяется расстоянием σ центра Луны от центра тени. В астрономических календарях приводятся величины Ф и σ для разных моментов затмения.

Поскольку явление затмения состоит в ослаблении света Луны вследствие прохождения сквозь земную полутень и тень, основная задача наблюдений затмений состоит в фотометрическом измерении или хотя бы приближенной глазомерной оценке степени этого ослабления. Предметом измерений может быть или блеск лунного диска в целом, или яркость отдельных участков лунной поверхности. В обоих случаях интенсивность света в различные моменты затмения сравнивается с тем значением, которое имеет место перед началом или по окончании полутеневого затмения.

Интенсивность лунного света количественно выражается блеском Луны E или же звездной величиной m (см. § 4, гл. III).

Пусть блеск полной Луны вне затмения равен E_0, а соответствующая ему звездная величина Луны m_0. В некоторый момент затмения блеск Луны снизится до значения $E_з$, а звездная величина Луны соответственно возрастет до некоторого значения $m_з$. Ослабляющий эффект затмения количественно может быть выражен либо в виде коэффициента ослабления

$$k = \frac{E_з}{E_0},$$

либо, что удобнее, в виде разности звездных величин g:

$$g = m_з - m_0 = -2,5 \lg \frac{E_з}{E_0}.$$

Конечной целью интегральной фотометрии света Луны во время затмения является получение зависимости между величинами g и k, с одной стороны, и фазой затмения Ф или σ, — с другой.

Более ценные результаты дает поверхностная фотометрия, позволяющая измерять яркость B различных точек диска Луны вне затмения, а также в условиях тени и полутени. Обозначив яркость и звездную величину участка лунного диска вне полутени через B_0 и M_0, а внутри тени и полутени через $B_з$ и $M_з$, мы получим из наблюдения коэффициент ослабления

$$K = \frac{B_з}{B_0},$$

или величину ослабления G, выраженную в звездных величинах,

$$G = M_з - M_0 = -2,5 \lg \frac{B_з}{B_0}.$$

Поскольку Луну можно рассматривать просто как экран, освещаемый солнечным светом, величина K выражает степень уменьшения солнечной освещенности на поверхности Луны, вызванного наступающим там солнечным затмением. Поэтому, измеряя значения ее для разных точек тени и полутени, мы получаем весьма ценный в научном отношении материал для изучения распределения света в конусах земной тени и полутени. Очень желательно выбирать для измерения участки по всему лунному диску и каждое измеренное значение K сопровождать двумя координатами: расстоянием σ от центра тени O и позиционным углом P линии, соединяющей точку с центром тени. Однако осуществление таких наблюдений технически далеко не просто. Кроме того, получение указанных координат для произвольно выбранных точек Луны требует довольно длительных и сложных вычислений. Поэтому в качестве программы-минимум можно рекомендовать наблюдения на протяжении всего затмения для точек *Л*, *А* и *Б* лунного диска. Последние две точки всегда легко найти, потому что это будут самая яркая и самая темная точки во время затмения (рис. 137). Правда, эти точки на протяжении затмения перемещаются по окружности лунного диска, так что при вычислении K и G сопоставляются яркости не одних и тех же мест на Луне. Но, поскольку местные различия в альбедо материков невелики, с этим можно примириться.

Визуальные наблюдения лунного затмения. Основное назначение этих наблюдений состоит в том, чтобы дать материал для качественной оценки яркости затененных частей лунного диска по видимости деталей лунной поверхности. Для того чтобы наблюдения давали сравнимые результаты, необходимо, чтобы они

велись по единой програме, в стандартных условиях и с одинаковой аппаратурой. Поэтому в качестве нормального инструмента принимается 6-*кратный призматический бинокль*. Наблюдения состоят в периодическом внимательном осмотре лунного диска на протяжении всего затмения, от момента вступления в полутень до момента выхода из полутени. Желательные интервалы между наблюдениями:

во время полутеневого затмения	— 10 минут;
вблизи моментов начала и конца частного затмения для края Луны, контактирующего с краем земной тени	— 2 минуты;
во время частного и полного затмения	— 5 минут.

При каждом осмотре диска отмечается видимость или невидимость всех деталей, перечисленных в списке, прилагаемом к настоящей инструкции (см. с. 336). Схема расположения этих деталей на лунном диске представлена на рис. 138.

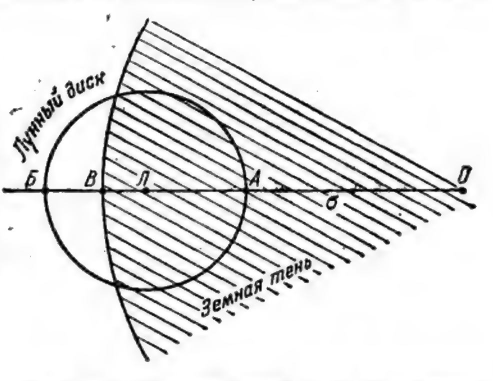


Рис. 137. Положение точек *Л*, *А*, *Б*, рекомендуемых для наблюдения во время лунных затмений

Технически удобнее вести работу вдвоем, причем один из участников ведет наблюдение, а другой — записи. Полезно заранее приготовить для записей таблицу, в которой перечислены все объекты и приготовлены графы для отметок. Помощник наблюдателя зачитывает название объекта по порядку списка, а наблюдатель оценивает его видимость, что и отмечается в графах таблицы какими-либо условными значками. Во время полной фазы затмения, когда яркость погруженного в тень лунного диска мала, наблюдатель должен стараться не смотреть на посторонний свет, предоставляя делать все справки и записи помощнику.

Попутно с оценками видимости отмечается цвет различных частей диска в словесной форме, например: *темный край лунного диска густо-вишневый*, *центр — грязно-кирпичный*, *светлый край— желто-оранжевый*. Такие отметки делаются по мере наступления изменений окраски.

Моменты всех наблюдений отмечаются с точностью до 1 мин по проверенным часам. Описываются условия погоды (безоблачно, в просветах облаков, сквозь перистые облака), а также все прочие обстоятельства, которые, по мнению наблюдателя, могли повлиять на результат.

Наблюдатель должен заблаговременно ознакомиться с предназначенными для наблюдения объектами сначала по фотографии полной Луны, а потом в натуре. Полезно проводить предвари-

тельную тренировку, наблюдая пепельный свет Луны. Для тренировки можно также наблюдать диск полной Луны в бинокль, устанавливая перед объективами последнего светофильтры с разной степенью пропускания.

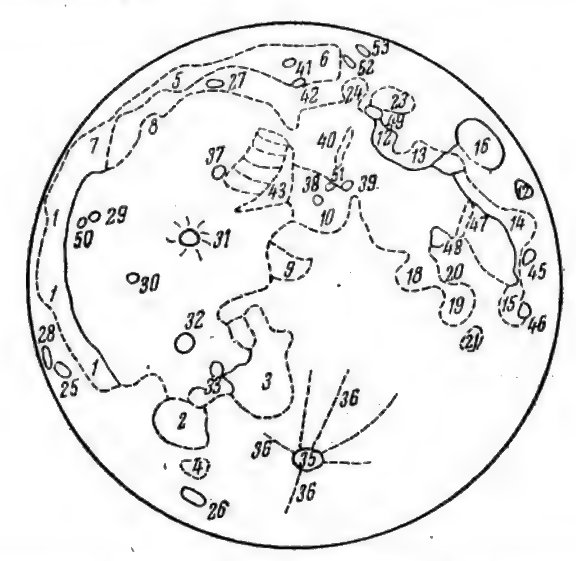


Рис. 138. Расположение деталей на Луне, рекомендуемых для наблюдений видимости (числа означают номера объектов по списку)

Список объектов, рекомендуемых для наблюдений видимости во время лунных затмений (рис. 138)

Моря

1. Океан Бурь, восточный край
2. Море Влажности
3. Море Облаков
4. Темное пятно к югу от Моря Влажности
5. Море Холода, восточная ветвь
6. Море Холода, западная ветвь
7. Залив Росы
8. Залив Радуги
9. Залив Срединный
10. Море Паров
11. Болота Гнилое и Туманов, а также темный промежуток между ними
12. Западный край Моря Ясности
13. Западный край Моря Спокойствия
14. Западный край Моря Изобилия
15. Море Изобилия, южная оконечность
16. Море Кризисов
17. Море Волн
18. Море Нектара, северное расширение
19. Море Нектара, южное расширение
20. Море Нектара, перемычка между северной и южной частями
21. Темные пятна к югу от Моря Нектара
22. Болото Сонное
23. Озеро Смерти
24. Озеро Сновидений

Темные кратеры

25. Гримальди
26. Шиккард
27. Платон
28. Риччоли

Светлые объекты

(кратеры, группы кратеров, горные области)

29. Аристарх
30. Кеплер
31. Коперник

32. Рифейские горы
33. Буллиальд, Любинецкий, Агатархид
34. Фра Мауро, Бонплан, Пэрри, Герике
35. Тихо
36. Лучи Тихо
37. Архимед
38. Манилий
39. Плиний
40. Светлая полоса в Море Ясности
41. Аристотель
42. Евдокс
43. Апеннины
44. Сарматия
45. Лангрен
46. Петавий
47. Секки, Тарунций
48. Горный район около Цензорина
49. Посидоний
50. Геродот
51. Менелай
52. Геркулес
53. Атлас

Интересную программу визуальных наблюдений лунных затмений в 6-кратный бинокль предложил профессор В. В. Шаронов. Она состоит в фиксировании моментов времени (с точностью до 1 минуты) появления и исчезновения перечисленных ниже эффектов.

При полутеневом затмении: первые и последние признаки слабого потемнения лунного диска; ясно заметное потемнение; лунный край в районе контакта очень темен.

При частных фазах теневого затмения: появление и исчезновение затемненного края Луны на фоне неба; отчетливая видимость затемненного края; признаки красной окраски земной тени; четкая видимость красноватого цвета земной тени; видимость контуров лунных морей в земной тени; видимость деталей лунных морей в земной тени; разделение земной тени на две зоны — внешнюю (серую, светлую) и среднюю (окрашенную, темную); насыщенная окраска средней зоны земной тени; видимость внутренней темной зоны («ядра») земной тени; хорошая видимость лунных кратеров. При полных фазах затмения: окраска краевых зон лунного диска (зеленая, золотисто-желтая, оранжевая); одинаковый цвет всего лунного диска

Программу Шаронова полезно выполнять как без светофильтров, так и со светофильтрами голубого, зеленого, желтого, оранжевого и красного цвета, что вполне возможно при коллективных наблюдениях.

Иногда во время затмения на небе около Луны бывает видна земная тень, которую можно заметить в оптические инструменты. Если земная тень вне Луны обнаружена, то следует попытаться измерить ее диаметры (она может быть и не идеально круглой) путем сравнения с диаметром Луны или с угловыми расстояниями между определенными звездами, положение которых можно найти на звездных картах и в звездных каталогах. Необходимо подробно описать вид земной тени вне Луны, неровности ее контура, сжатие и цветовые оттенки.

Если на небе в области земной тени видны звезды, то на протяжении всего затмения полезно провести оценки их блеска, сравнивая его с блеском звезд, расположенных вблизи, но заведомо вне земной тени. При оценках блеска звезд Луна должна находиться

вне поля зрения инструмента, чтобы своим светом не искажать оценок.

Весьма эффективны визуальные оценки общей яркости и цвета Луны в затмении. Эти оценки проводятся как невооруженным глазом, так и в 6-кратный бинокль по шкале А. Данжона:

0 — затмение очень темное; в середине затмения Луна почти или совсем не видна;

1 — затмение темное, серое; детали на лунной поверхности совершенно не видны;

2 — затмение темно-красное или рыжеватое; около центра тени наблюдается более темная область;

3 — затмение красное, кирпичного цвета; земная тень окружена сероватой или желтоватой каймой;

4 — затмение медно-красное, очень яркое; внешняя зона светлая, голубоватая.

Шкалу Данжона можно применять только при фазах затмения, превышающих 0,8 и при безоблачном участке неба, в котором находится Луна.

Если в распоряжении наблюдателя имеется телескоп, диаметр объектива которого не менее 10 см, то на протяжении всего затмения весьма желательны наблюдения кратеров Геродот, Аристарх, Гримальди, Атлас и Риччоли, при увеличении не менее 90 крат. Особое внимание следует обратить на возникающее иногда свечение Аристарха, Геродота и Гримальди при их погружении в земную полутень, а также на изменение интенсивности и размеров темных пятен на дне Риччоли и Атласа. Попутно следует оценивать ширину и цвет каймы земной тени на поверхности Луны.

Фотометрия лунного света способом точечного изображения. Фотометрические наблюдения ведутся только при безоблачном небе или в совершенно ясных просветах между облаками. Наблюдения, выполненные сквозь перистые облака, для фотометрической обработки не годятся.

Оценки и измерения лунного света можно выполнять как визуально, так и фотографически. Наиболее употребительны следующие проверенные на практике методы.

1. *Метод шарика* состоит в сравнении точечного изображения Луны со звездами по способу, применяемому при наблюдениях переменных звезд (см. с. 282—284, а также Инструкцию для наблюдений переменных звезд, с. 425—426). Наблюдения ведутся невооруженным глазом, но для превращения большого лунного диска в звездообразное изображение употребляется маленькое, сильно выпуклое зеркало, например, чистый и гладкий стальной шарик от шарикоподшипника.

Шарик должен находиться от глаза на строго постоянном и достаточно большом расстоянии. Чем больше расстояние шарика от глаза, тем лучше, поскольку разница в фокусировке (аккомодация) глаза на шарик и на звезды становится незаметной. Очень

хорошо было бы иметь расстояние порядка 10 м, но часто приходится довольствоваться расстоянием до шарика в 3—5 м. Полезно использовать два-три шарика, имеющие различные диаметры и потому дающие блики разного блеска (см. также гл. IV, с. 285).

При наблюдении с описанным устройством наблюдатель становится к Луне спиной, проектируя шарик на фон созвездия, находящегося на той же высоте горизонтом, что и Луна, и сравнивает видимый блеск лунного блика, отражаемого от шарика, с блеском звезд.

2. *Фотографический вариант метода шарика* отличается тем, что вместо глаза ставится обыкновенный любительский фотоаппарат типа «Зоркий», которым шарик с лунным бликом фотографируется вместе с фоном звездного неба. Выдержка должна быть настолько короткой, чтобы смещение звезд из-за суточного движения не было ощутимо.

3. *Метод перевернутой трубы или бинокля.* Вместо шарика можно воспользоваться телескопом, обращенным окуляром к Луне и объективом к глазу наблюдателя. В этом случае глаз видит через трубу сильно уменьшенное мнимое изображение Луны. Его блеск сравнивают с блеском тех ярких звезд, видимых без телескопа, среди которых находится Луна. Меняя окуляры, можно получать разную степень уменьшения видимого размера, а следовательно, и блеска Луны. Необходимо чтобы расстояние объектива от глаза было строго постоянно. При полной фазе затмения Луна из-за слабости ее света в перевернутый телескоп не видна и потому его приходится заменять биноклем. Для сведéния результатов наблюдений, выполненных биноклем и телескопом, в одну кривую изменения блеска, делаются специальные сравнительные оценки блеска Луны двумя сравниваемыми инструментами.

4. *Метод предельной видимости звезд.* Ослабление лунного света во время затмения может быть определено по предельной видимости звезд Северного Полярного Ряда (область неба вокруг Полярной звезды) и в области зенита. Для этого нужно заранее рассчитать, какие созвездия будут находиться в области зенита во время затмения, и изготовить на кальке копии звездных карт рассчитанной области и Северного Полярного Ряда. При наблюдениях невооруженным глазом на копиях изображаются звезды до 6^m, а при наблюдениях в бинокль до 9^m. Каждая звезда, изображенная на копии карты, нумеруется. В течение всего затмения, через каждые 5—10 минут, отмечаются номера наиболее слабых звезд, видимых на пределе зрения. Такие же оценки предельной видимости звезд необходимо провести до и после затмения. Зная видимую звездную величину звезд, легко найти степень ослабления лунного света в различные фазы затмения.

Интегральная фотометрия лунного света по методу безобъективной камеры. Метод безобъективной камеры применяется для сравнения блеска Луны во время полутеневого и частного затмения с блеском ее вне затмения.

Камера изготовляется либо специально, либо путем переделки имеющегося фотографического аппарата таким образом, чтобы на фотографическую пластинку попадал свет от участка небесного свода, занятого Луной и имеющего угловой поперечник от 2 до 5°. Для этого на переднем конце установки должна помещаться диафрагма, диаметр которой виден из центра пластинки под этим углом в 2—5°. Труба, соединяющая диафрагму с кассетной частью, снабжается внутри рядом диафрагм для устранения отражения от стенок и покрывается черной матовой краской.

Желательно получить много засветок на одной пластинке или на одном куске пленки. Для этого надо сделать кассету, передвигающуюся вдоль отверстия заслонки, или применить кассету с перематываемой пленкой.

Непосредственно перед кассетой устанавливается непрозрачная заслонка с отверстием в центре, диаметр которого не более 1 см. Через это отверстие и получается засветка небольшого участка пластинки или пленки лунным светом.

Наблюдение состоит в том, что на протяжении всего затмения в моменты, следующие один за другим через 5—10 мин, получаются засветки лунным светом при строго одинаковой продолжительности выдержки. Последняя подбирается путем пробных съемок лунного света в дни, предшествующие затмению, и должна быть такой, чтобы свет полной Луны вне затмения давал почернение, соответствующее верхнему концу характеристической кривой, но не передержке.

Камера устанавливается на штативе, снабженном устройством, позволяющим удобно наводить ее на Луну в момент экспозиции. Для контроля наводки устраивается прицельное приспособление или (что лучше всего) небольшой телескоп-искатель.

Для съемки применяется одна из трех комбинаций:

1) пластинки (пленки) нормальной спектральной чувствительности без светофильтра:

2) пластинки изохром с желтым фильтром;

3) пластинки панхром с оранжевым фильтром.

Применение ортохроматических, изохроматических и панхроматических эмульсий без светофильтров не рекомендуется, так как оно затрудняет учет атмосферного ослабления.

Каждая пластинка или рулон пленки обязательно должны быть прокалиброваны, т. е. на них печатается *фотометрическая шкала*, для чего используются *трубчатый фотометр*, *ступенчатый ослабитель* или *сенситометрический клин*. Интенсивность источника света, служащего для калибровки, должна быть строго постоянной, поскольку в дальнейшем шкала используется для фотометрической связи пластинок или пленок между собой. Шкала должна быть напечатана на совершенно чистых, т. е. свободных от вуали участках эмульсии.

Для калибровки можно также использовать приспособление, имеющее вид глухого фонарика, закрытого молочным стеклом.

Перед этим стеклом по очереди устанавливаются диафрагмы с отверстиями различной площади, и их свет фотографируется камерой, так же как и Луна во время затмения. Величина освещенности при последовательных засветках будет пропорциональна площадям соответствующих диафрагм. Для того чтобы последнее действительно имело место, необходимо строгое соблюдение нижеследующих пяти условий:

1) накал лампы, освещающей стекло, должен быть постоянным;

2) стекло должно быть расположено так, чтобы освещенность во всех точках его работающей части была одинаковой;

3) расстояние лампы от стекла должно быть неизменным;

4) расстояние каждой из диафрагм от эмульсионного слоя пластинки или пленки должно быть точно одинаковым;

5) всякий посторонний свет (т. е. идущий мимо диафрагм) должен быть совершенно устранен.

Проявление всего полученного материала проводится строго стандартно, т. е. в свежем проявителе, заготовленном для всей работы одновременно, при постоянной температуре и постоянной продолжительности проявления и не позднее, чем через 24 часа после наблюдений.

Фотографирование Луны с целью фотометрии тени и полутени. Получают серию фотометрических снимков, состоящую из одного или нескольких негативов полной Луны вне полутени (по возможности полученных как до, так и после затмения) и ряда негативов со снимками полутеневого, частного и полного затмений с промежутком через 10 минут. Для съемки используется объектив с фокусным расстоянием не менее 50 см.

Все снимки обязательно делаются на пластинках одного сорта и с тем же самым цветным светофильтром (если последний применяется). Рекомендуются три фотометрические системы (т. е. комбинации из фильтра + пластинки), указанные выше.

Калибровка и проявление производятся по правилам, изложенным выше. Если в план наблюдений входит измерение яркости лунного диска, находящегося в тени, то необходимо применять приспособления, ослабляющие свет, со степенью ослабления до 12 звездных величин (серые фильтры, диафрагмы и т. д.), поскольку интервал яркостей лунного диска вне затмения и в тени далеко выходит за пределы широты фотоэмульсии. В этом случае Луна вне затмения и в полутени снимается с ослабляющим приспособлением, а в тени—без него, но оба раза обязательно при одинаковой продолжительности экспозиции. Ослабляющие приспособления подбираются так, чтобы плотность изображений лунного диска вне затмения и в тени лежала на прямолинейном участке характеристической кривой.

Подбор ослабителя, установку шиберов и вообще всю выверку аппаратуры и методику съемки рекомендуется производить по снимкам пепельного света Луны.

Степень ослабления, создаваемая фильтром (или иным приспособлением), должна быть точно известна, для чего необходимо выполнить надлежащую фотометрическую калибровку его.

В качестве фильтра-ослабителя можно применять стекло марок ТН и НС или нейтрально окрашенную желатиновую пленку; фильтр применяется плотностью около двух в сочетании с ослаблением через диафрагмирование в 100 раз.

Обработка негативов состоит в их измерении на микрофотометре и переводе полученных отсчетов в яркости. Это позволяет в дальнейшем получить для некоторой определенной детали лунного диска отношение яркостей (или разности звездных величин) вне затмения и во время различных фаз последнего. Изменение этого отношения в зависимости от расстояния σ от центра тени и позиционного угла P и составляет конечный результат наблюдения.

При отсутствии микрофотометра можно воспользоваться методом сравнения почернений по отпечаткам, описанным в книге «Луна и ее наблюдение» Н. Н. Сытинской.

Учет атмосферного ослабления при фотометрических наблюдениях лунных затмений. Поправка Δm за ослабление света Луны в земной атмосфере вычисляется по общей формуле

$$\Delta m = -aM(z),$$

где $M(z)$ — воздушная масса для зенитного расстояния z, в первом приближении равная $\sec z$; a — ослабление вертикально идущего луча, выраженное в звездных величинах.

Для получения зенитного ослабления a следует воспользоваться методом, описанным в § 5, гл. III, выбирая для этого белые, желтые и красноватые звезды, причем при оценках сравнивается между собой блеск звезд обязательно одинакового цвета.

Обработка наблюдений состоит в построении бугеровского графика, выражающего зависимость яркости или блеска Луны, выраженных в звездных величинах m, от воздушной массы $M(z)$. Обычно точки на графике лежат на прямой линии, угловой коэффициент которой и будет искомым значением a.

Наблюдения моментов покрытий лунных образований земной тенью во время частных и полных лунных затмений. Астрометрические наблюдения лунных затмений состоят в определении моментов покрытий различных лунных деталей земной тенью, а также моментов выхода объектов из тени.

Конечной целью таких наблюдений является определение превышения размеров видимой земной тени над размерами тени, вычисленной геометрически (в предположении, что Земля не обладает атмосферой), а также определение величины сжатия эллипса тени, что позволяет получить некоторые данные о строении верхних слоев земной атмосферы.

Для получения пригодных к дальнейшей обработке результатов необходимо при наблюдениях строго соблюдать следующие условия.

Выбранные для наблюдений объекты должны быть точечными, т. е. при данном увеличении телескопа иметь очень малые видимые угловые размеры. Большие цирки и кратеры с темным дном (Гримальди, Шиккард, Платон) невыгодны для наблюдений. Наиболее удобны для наблюдения моментов покрытий кратеры с хорошо видимой в полнолуние центральной горкой, момент покрытия которой и отмечается, а также светлые точечные образования на Луне (пики, светлые кратеры типа Мёстинг и т. д.).

Выбранные объекты должны быть легко распознаваемы или по виду, или по их взаимному расположению, а также достаточно ярки, чтобы их можно было наблюдать не только вне тени, но и на ее границе. Это позволяет избежать смешения объектов между собой и повышает точность наблюдений.

Желательно, чтобы объект был виден и внутри тени, хотя бы в более светлых краевых ее частях, потому что такой объект можно наблюдать как при вступлении в тень, так и при выходе из нее. Такими объектами являются главным образом светлые кратеры с центральной горкой внутри (Тихо, Коперник, Манилий).

Моментом покрытия объекта считается момент пересечения его центра границей (краем) тени, причем за последнюю следует считать место наиболее быстрого относительного падения яркости по направлению внутрь тени.

Для определения сжатия эллипса тени необходимо, чтобы наблюдения охватывали как можно бóльшую часть дуги эллипса. Поэтому объекты для наблюдений нужно выбрать так, чтобы они располагались равномерно по всему лунному диску. Желательно для этой же цели наблюдать как вступление, так и выход из тени одних и тех же объектов. В силу вышесказанного выбор объектов должен составить основную часть подготовительной работы наблюдателя. Необходимо ознакомиться с объектами, взятыми для наблюдений, за несколько предшествующих затмению полнолуний, точно запомнить их названия, вид и взаимное расположение. При выборе объектов надлежит руководствоваться стандартным списком, данным на с. 345. Для облегчения поисков и отождествления объектов служит прилагаемая схематическая карта (рис. 139). Пользуясь этой картой и списком, легко найти все указанные объекты на лунном диске в одно из полнолуний, предшествующих затмению.

Для наблюдений пригодны зрительные трубы и телескопы с отверстием 75—100 мм и больше; увеличения должны быть не менее 30—40 и не более 100 раз. Наблюдения удобно вести с помощником, записывающим отмеченные моменты, последние достаточно отмечать с точностью до 1 секунды. Для определения поправки хронометра надлежит воспользоваться сигналами времени, передаваемыми каждый час по радио.

Для облегчения наблюдений и лучшей ориентировки полезно заранее составить список последовательности покрытий наблюдаемых объектов. Для этого графическим способом (см. гл. I, § 24) строится карта затмения. Перечерченный затем на кальку

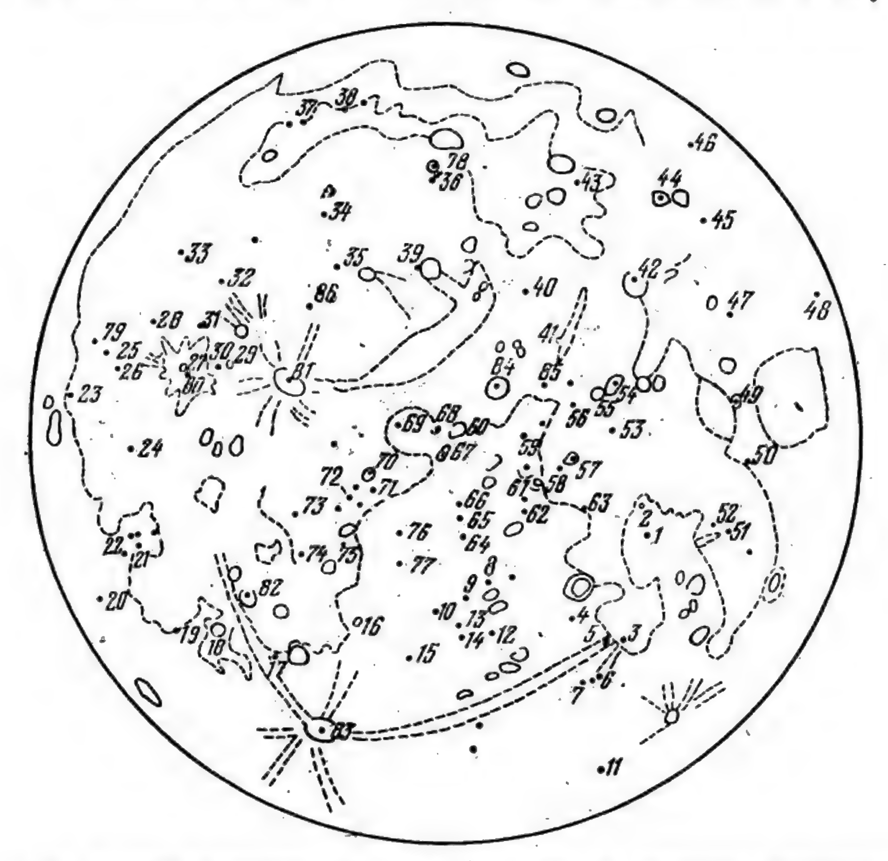


Рис. 139. Схема расположения объектов, рекомендуемых для наблюдений прохождения края земной тени (числа означают номера объектов по списку на с. 345).

интересующий нас край земной тени (в масштабе лунной карты) накладывается на карту и ориентируется в соответствии с углом положения лунной оси. Передвигая кальку поступательным движением, мы видим последовательность покрытия или открытия объектов. Данные берутся из Астрономического Ежегодника СССР или Астрономического Календаря ВАГО.

Весьма желательно, чтобы обработка наблюдений, состоящая в получении радиуса земной тени, производилась самим наблюдателем. Пример таких вычислений подробно описан в работе С. В. Макарова и М. А. Свечникова (см. список литературы).

Список объектов, рекомендуемых для наблюдений покрытий земной тенью [1])

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты		Примечание
			l	b	
1	28	Капелла D	+34° 5′ ,61	— 4° 15′,32	
2	31	Цензорин *	+32 39,95	— 0 23,91	Очень яркий в полнолуние; имеет вид горки с далеко идущими в разные стороны светлыми лучами
3	89	Фракастор E	+34 57,37	—17 52,05	Яркий объект, лежащий на луче, идущем от Тихо.
4	15	Бомон A	+26 12,62	—17 3,68	
5	47	Фракастор d	+28 2,12	—23 1,92	Светлое размытое пятно, лежащее на луче, идущем от Тихо через Море Нектара E; в полнолуние наиболее светлый объект на данном участке.
6	107	Пикколомини I	+33 47,12	—26 7,06	
7	109	Пикколомини II	+31 56,20	—27 52,74	
8	1	Абульфеда A	+10 47,29	—16 25,08	
9	4	Эри A	+7 40,71	—17 2,11	
10	5	Эри X	+4 29,42	—17 37,55	Небольшой светлый кратер на южном краю Эри.
11	44	Фабриций K	+42 14,63	—46 4,17	
12	125	(Жансен)			
13	14	Сакробоско c	+15 51,28	—22 58,75	Обладает неправильной формой.
		Азофи a (Абенезра a)	+10 5,38	—20 49,45	
14	111				Имеет грушеобразную форму.
		Плейфер A	+10 28,44	—22 48,31	
15	150	(Азофи A)			Горка на северном краю кратера, в полнолуние наиболее яркое место во всем окружающем районе.
		Вернер	+3 15,47	—27 4,77	
16	139	Табит A	—4 53,94	—21 34,41	
17	64	Гесиод A	—17 0,76	—30 5,94	Матовый кратер на юго-восточном краю Гесиода.
18	27	Кампан *	—27 43,78	—27 58,16	Центральная горка на темном фоне самого кратера.
19	148	Вителло	—37 18,29	—30 19,38	Небольшой светлый кратер внутри большого кратера.

[1]) Знаком * отмечены наиболее удобные для наблюдений объекты.

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты		Примечание
			l	*b*	
20	26	Бюрг А	—63° 48′,23	—24° 33′,47	Яркий кратер на западном краю Юрга. Вид его сильно меняется из-за фазы и либрации; иногда он кажется двойным, так как его пересекает темная полоса.
21	52	Гассенди А	—43 35,23	—18 25,91	Горка неправильной формы; наиболее яркая точка ее не совпадает с центром тяжести фигуры.
22	94	Мерсенн С	—45 55,10	—19 45,67	
23	30	Лорман А	—62 37,11	—0 45,19	
24	45	Флемстид	—44 14,98	—4 29,23	
25	120	Рейнер	—54 54,14	+6 53,62	
26	121	Рейнер А	—51 22,90	+5 7,24	
27	72	Кеплер *	—37 57,72	+8 6,40	
28	90	Марий А	—45 57,65	+12 34,57	
29	98	Милихий *	—30 11,49	+9 59,78	
30	—	Милихий А*	—32 02,10	+9 15,20	
31	16	Виссарион	—37 16,71	+14 48,47	Горка неправильной формы.
32	43	Эйлер А	—36 49,56	+20 52,03	
33	13	Аристарх *	—47 32,43	+23 42,23	
34	29	Карлини	—24 2,76	+33 41,28	Кратер, восточная часть которого открыта.
35	76	Ламберт F	—18 26,7	+26 27,53	Горка углообразной формы, открытая к востоку.
36	106	Пико В	—8 11,52	+43 11,45	Горная цепь с тремя вершинами. Объектом является средняя вершина.
37	127	Шарп А	—42 33,24	+47 31,78	
38	24	Буге	—35 40,67	+52 12,09	Объект клинообразной формы с вершиной к востоку.
39	11	Архимед А	—6 23,92	+28 1,33	
40	79	Линней	+11 47,08	+27 42,36	
41	17	Бессель	+17 53,77	+21 42,57	
42	116	Посидоний А*	+29 28,75	+31 39,34	
43	41	Евдокс А	+20 4,95	+45 47,09	
44	62	Геркулес D*	+39 7,72	+46 22,28	Эксцентрический кратер в южной половине Геркулеса.

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты		Примечание
			l	*b*	
45	32	Цефей А	+46° 30′,37	+41° 1′,72	На западном краю Цефея.
46	40	Эндимион G	+55 36,44	+56 22,20	
47	114	Тралль А*	+47 4,09	+27 26,65	
48	126	Сенека А	+69 57,04	+29 41,44	
49	117	Прокл *	+46 57,27	+16 4,78	
50	137	Тарунций А	+43 52,46	+7 16,03	
51	95	Мессье	+47 37,27	−1 52,70	
52	96	Мессье А	+46 55,78	−1 59,85	
53	71	Жансен В	+26 41,21	+10 40,26	Кратер имеет стремянообразную форму и расположен на горной цепи, идущей от Жансена.
54	112	Плиний А*	+26 19,83	+13 17,52	Окружен светлым кругом с диаметром 3°.
55	113	Плиний *	+23 34,69	+15 18,96	Центральная горка.
56	136	Таке А	+20 14,78	+14 19,58	Кольцеобразной формы.
57	9	Араго А	+20 0,30	+4 34,57	Светлое «кольцо» с очень темной внутренней частью.
58	36	Дионисий *	+17 19,79	+2 46,46	Очень яркий, окруженный лучами кратер белого цвета, иногда кажется окрашенным в голубоватый цвет.
59	129	Зильбершлаг	+12 33,29	+6 12,69	
60	69	Гигинус	+6 17,49	+7 46,08	Расположен в вершине угла, образуемого двумя большими трещинами, хорошо видимыми даже при не очень больших увеличениях.
61	143	Теон старший	+15 26,04	−0 47,79	
62	142	Теон младший	+15 50,43	−2 33,52	
63	70	Гипатия В	+24 10,46	−0 34,61	
64	66	Гиппарх С*	+8 14,60	−7 46,04	Три ярких кратера на прямой линии и почти на равных расстояниях друг от друга.
65	68	Гиппарх G*	+7 25,94	−5 0,92	
66	67	Гиппарх Е*	+7 0,62	−2 52,40	
67	145	Трискнекер *	+3 37,43	+4 10,65	

Номер объекта	Номер по МАС	Название объекта	Селенографические координаты		Примечание
			l	b	
68	147	Укерт *	+1° 23′,32	+7° 43′,47	Имеет форму треугольника с закругленными углами.
69	20	Боде	—2 25,91	+6 43,04	
70	99	Мёстинг	—5 50,10	—0 41,31	
71	100	Мёстинг А*	—5 10,32	—3 11,40	Один из самых ярких объектов лунной поверхности.
72	73	Лаланд *	—8 35,28	—4 27,88	
73	105	Пэрри А*	—15 56,69	—9 30,63	
74	56	Герике В*	—15 14,27	—14 33,76	Хорошо заметен даже на границе тени, так как расположен на острие лежащего севернее большого светлого пятна.
75	35	Дэви А	—7 42,85	—12 12,60	Кратер на юго-западном краю Дэви.
76	118	Птолемей А	—0 48,10	—8 30,49	
77	8	Альфонс А	—2 41,87	—13 20,84	Маленькая центральная горка, окруженная темными образованиями.
78	—	Пико *			
79	—	Рейнер X			Светлое овальное пятно с нерезкими очертаниями к востоку от Рейнера.
80	—	Кеплер А			Светлая горка югозападнее Кеплера.
81	—	Коперник			Центральная горка.
82	—	Буллиальд			Центральная горка.
83	—	Тихо			Центральная горка.
84	—	Манилий			Центральная горка.
85	—	Менелай			Центральная горка.
86	—	Гассенди А′	—39 25,6	—15 08,6	Светлое овальное пятно на северном краю Гассенди.

Литература

1. Козик С. М. Каталог и схематическая карта избранных лунных объектов для полнолуния. — М.: Изд-во АН СССР, 1960.

2. Линк Ф. Лунные затмения. — М.: Мир.

3. Макаров С. В. и Свечников М. А. Контур земной тени при лунном затмении 26 сентября 1950. — Уч. зап. ЛГУ, 1953, вып. 153.

4. Сытинская Н. Н. Луна и ее наблюдение. — М.: Гостехиздат, 1956.

§ 4. Инструкция для наблюдений планет

За последние годы изучение планет методами астрофизики и космической техники сделало большие успехи. Однако даже при том развитии, которое получили в планетоведении современные методы, визуальные наблюдения планет отнюдь не потеряли своего значения, и любитель со своими скромными средствами может принести пользу науке, если он будет работать систематически, ясно представляя себе цель, которую должны преследовать его наблюдения.

Наблюдения планет являются для любителя астрономии значительно более трудным делом, чем наблюдения метеоров, переменных звезд и Солнца. При рассматривании деталей на поверхности планет от наблюдателя требуется большая внимательность и терпение, так как небольшие видимые размеры планетных дисков, неспокойствие атмосферы и дрожание инструмента сильно затрудняют работу. Для наблюдений поверхности планет необходима труба с диаметром объектива не менее 80 мм, а серьезные результаты могут быть получены с телескопом от 150 мм и больше.

Прежде чем приступить к наблюдениям, нужно твердо усвоить следующие правила, которые должны быть положены в основу работы.

1. Коллективные наблюдения, т. е. наблюдения кружка или группы наблюдателей, имеют гораздо бóльшую ценность, чем наблюдения одиночек. При этом, разумеется, каждый наблюдатель должен вести работу самостоятельно. Ни в коем случае нельзя советоваться или сравнивать рисунки во время наблюдений.

2. Большое значение имеет систематичность в работе. Отдельные отрывочные наблюдения не представляют почти никакой ценности.

3. При наблюдениях всегда нужно отмечать или рисовать только то, что наблюдатель видит достаточно ясно. Детали, реальность которых сомнительна, лучше не рисовать. В крайнем случае в примечании надо оговорить сомнительную видимость данной детали. Следует оговаривать также случаи, когда наблюдавшаяся деталь была видна особенно отчетливо. Рисунок должен как можно точнее передавать вид планеты.

4. Обладая небольшим инструментом, не надо браться за непосильные задачи (например, пытаться наблюдать детали на поверхности Марса в 80-миллиметровый рефрактор). Это приведет к тому, что наблюдатель начнет рисовать не то, что он видит, а то, что ему кажется или что он хотел бы увидеть, т. е. к искажению действительности. Не нужно стремиться применять большое увеличение, а лучше выбрать то увеличение, при котором детали видны наиболее ясно.

Прежде чем начать зарисовывать планеты, полезно попрактиковаться в зарисовках с натуры и приучить глаз к рассматриванию планет в трубу. При наблюдении нужно стремиться к тому, чтобы

диск планеты находился в центре поля зрения, где изображения наиболее отчетливы.

Зарисовки Венеры и Марса производятся на заранее приготовленных дисках — окружностях диаметром 50 мм. Для рисунков Юпитера и Сатурна, имеющих заметную сплюснутость, применяются овальные диски, вычерчиваемые следующим образом (рис. 140) : проводится горизонтальная линия длиной в 50 мм — она будет изображать экваториальный диаметр планеты. На ней отмечается центр и на расстоянии 2,5 мм от центра наносятся четыре точки: выше его, ниже и по бокам. Затем циркулем проводятся четыре дуги: из верхней точки вниз и из нижней точки вверх радиусом в 26 мм, из боковых точек — радиусом в 22,5 мм. Каждая дуга охватывает 90°, и все они будут служить продолжением одна другой. Разумеется, такое построение не нужно делать для каждого рисунка, а лучше заранее заготовить картонные шаблоны (овальный и круглый) и обводить их карандашом. При этом нужно учесть, что шаблон должен быть меньше нужного размера на 1—1,5 мм.

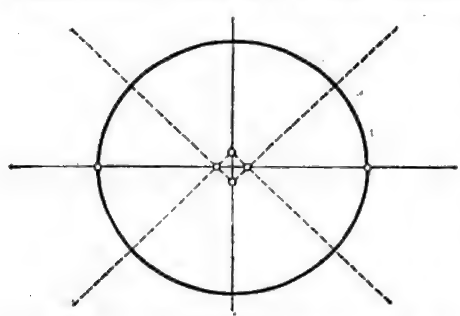


Рис. 140. Овальный шаблон для зарисовки деталей на дисках Юпитера или Сатурна.

Все рисунки нужно делать в специальной тетради или альбоме (отдельном для каждой планеты), на хорошей бумаге, простым мягким карандашом. Над каждым рисунком ставится его порядковый номер. Под рисунком указывается: 1) дата и время наблюдения (по декретному времени); 2) инструмент, диаметр объектива и увеличение; 3) качество изображения; 4) фамилия, имя и отчество наблюдателя; 5) примечания.

Время наблюдения записывается в момент нанесения самой интенсивной детали (см. ниже) с точностью до 1 минуты для Марса, Юпитера и Сатурна и до 5 минут для Венеры. Поправка часов должна быть известна с точностью до 1 минуты. Качество изображения рекомендуется оценивать по следующей пятибалльной шкале:

1— изображение сильно дрожит, весь диск струится, иногда искажается его форма, он окрашивается в переменные цвета; детали не видны; яркость фона неба меняется; временами изображение совсем расплывается;

2— изображение колеблется; диск заметно струится, но форма его не искажается; окрашивание невелико, яркость фона неба почти не меняется; на диске видны только самые крупные детали; слабые внешние части планеты размыты;

3—изображение почти неподвижно; края диска слегка струятся; видны все основные детали; яркость фона неба не меняется; иногда наблюдаются краткие (1—2 с) успокоения;

4—изображение резкое и неподвижное; края диска четкие; видны мелкие детали и слабые части планеты; часто наступают моменты полного успокоения;

5—изображение все время исключительно резкое; дрожания и помутнения редки (через 5—8 с); самые мелкие детали видны четко, как на рисунке; инструмент выдерживает максимальные для него увеличения.

В примечании нужно указывать, насколько ясно были видны детали, давать описания наиболее интересных из них, отмечать помехи при наблюдениях (дымка, проходящие облака, неспокойствие атмосферы и т. п.).

Венера. *Наблюдения фаз Венеры.* Наблюдения советских астрономов (в том числе любителей) показали, что наблюдаемая фаза Венеры систематически отклоняется от теоретической. Поэтому представляют интерес систематические зарисовки фаз Венеры, которые можно производить, наблюдая планету в трубу размером от 60 мм и выше.

Наблюдения фаз Венеры особенно интересны в следующие эпохи: 1) когда фаза близка к 1, т. е. Венера видна, как почти полный диск; 2) около фазы 0,5, когда терминатор близок к прямой линии; очень важно определить момент, когда он становится совершенно прямым; 3) при малых фазах (менее 0,2), когда Венера имеет вид узкого серпа. Наблюдения в эпохи 1) и 3) затруднены вследствие близости Венеры к Солнцу; поэтому наблюдать ее можно только днем. Найти планету днем легко, если инструмент снабжен разделенными кругами. В противном случае нужно примерно рассчитать ее положение на небе и «ловить» ее в трубу, поставив самое малое увеличение. Около времени наибольшего удаления Венеры от Солнца имеет смысл наблюдать ее фазу как днем, так и в сумерки и ночью, делая зарисовки через каждые 15—20 минут. Такие наблюдения позволят изучить влияние иррадиации.

Зарисовка планеты начинается с нанесения линии терминатора (границы освещенной и неосвещенной частей планеты). Сначала надо стараться правильно передать фазу и удлинение рогов серпа. При плохом изображении этим приходится ограничиваться.

Затем приступаем к осмотру видимого диска планеты, который проводится в следующем порядке:

1. Осматриваем терминатор. На терминаторе могут быть светлые выступы и темные «заливы». Верхняя и нижняя половины его могут быть не симметричны. Особенно часто темные заливы видны на терминаторе около рогов, ввиду чего терминатор почти никогда не имеет полуэллиптической формы.

2. Осматривая рога серпа, прежде всего отмечаем наличие или отсутствие удлинения рогов. Если рога удлинены, то на рисунке их концы отмечаются стрелочками, чтобы можно было оценить

угол α, на который удлиняется каждый рог серпа (рис. 141). Нередко один из рогов бывает размыт, в то время как другой виден резко. На терминаторе у рогов некоторые наблюдатели иногда видят довольно резкие зазубрины. При больших фазах наблюдаются также закругления терминатора.

По величине удлинения рогов серпа после обработки можно определить длину сумеречной дуги в атмосфере Венеры, что представляет интерес для изучения ее строения.

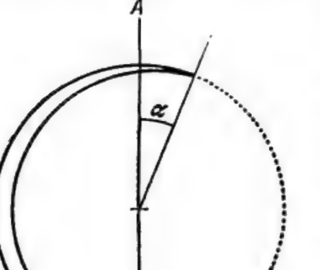


Рис. 141. К определению удлинения рогов серпа Венеры.

3. Осматриваем лимб планеты. На лимбе могут наблюдаться светлые иррадиирующие выступы.

4. Осматриваем самый диск (серп). Наиболее заметно на диске Венеры потемнение у терминатора, имеющее форму сегмента. При разных фазах этот сегмент изменяет свою ширину. Другой характерной особенностью вида Венеры являются светлые области вдоль лимба. Это, по-видимому, следствие контраста.

5. Детали на Венере представляют собой очень размытые и неясные образования, имеющие, вероятно, облачную природу. Темные пятна обычно имеют вытянутую форму, белые — округлую. На рисунке темные области затушевываются, а светлые обводятся пунктиром (рис. 142). Светлые области нередко выдаются за лимб и терминатор. Наблюдения таких выступов представляют особенный интерес, поскольку они создаются, скорее всего, облаками типа наших серебристых облаков (см. § 12), находящимися выше основного облачного слоя Венеры. По этим наблюдениям можно определить высоту верхних облаков над уровнем нижних.

Для того чтобы впоследствии при обработке можно было отличать реально наблюденные детали от случайных дефектов зарисовки, детали с помощью выносных линий обозначаются буквами и записываются так, как это показано на рис. 142.

Светофильтры сильно влияют на контрастность деталей на поверхности Венеры. Многочисленными наблюдениями было установлено, что контрастность темных деталей резко увеличивается при наблюдении через синий или голубой светофильтр. Однако синий светофильтр несколько ухудшает общее качество изображения. При плохой прозрачности воздуха для ослабления рассеянного света неба надо применять желтый или оранжевый светофильтр.

В случае вечерних и ночных наблюдений для снижения яркости планеты (создающей неприятное впечатление «блескости») приходится ставить нейтральный фильтр или диафрагмировать объектив телескопа. Обычно видимость деталей при этом улучшается, а глаз

не так сильно утомляется. Многие наблюдатели указывают, что выгоднее Венеру наблюдать не ночью, а днем или в сумерки.

При наблюдениях со светофильтрами нужно оценивать видимость светлых и темных деталей и форму терминатора при наблюдении с каждым фильтром или производить зарисовки отдельно для каждого фильтра. Такие наблюдения могут дать представление об окраске деталей.

Следует напомнить, что к наблюдению деталей на поверхности Венеры надо подходить с величайшей осторожностью, так как



Рис. 142. Пример зарисовки и записи в журнале наблюдений Венеры.

очень часто эти детали настолько слабы и размыты, что возникают сомнения в их реальности.

Марс. *Зарисовки поверхности.* Небольшой видимый диаметр Марса сильно ограничивает возможность его наблюдения средствами любителей. Для наблюдения поверхности Марса вблизи эпохи противостояния нужна труба не менее 100 мм, а хорошо рассмотреть детали на Марсе удается только в телескоп не менее 150 мм.

Ближайшие противостояния Марса 1986 и 1988 гг. будут относительно благоприятны для его наблюдений (расстояние его от Земли будет 60 и 58 млн. км). Нужно их использовать, конечно, в пределах инструментальных возможностей наблюдателя.

При наблюдениях Марса обычно не рекомендуется изучать опубликованные карты и рисунки Марса, чтобы быть совершенно

свободным от подгонки наблюдавшейся картины деталей к какой-либо карте планеты, что часто бывает у начинающих наблюдателей.

Тем не менее для некоторых наблюдений (например, прохождения деталей через центральный меридиан, оценки их интенсивности и сезонных изменений) знание названий основных деталей Марса необходимо. Поэтому лучше всего, если наблюдатель при изучении схематической карты Марса будет обращать внимание лишь на общее расположение деталей, но не на их форму и подробные очертания. Нужно помнить, что видимые очертания деталей подвержены значительным изменениям год от года и даже за несколько недель или дней. Причиной этого могут быть сезонные изменения, происходящие ежегодно, изменения очертаний «морей», связанные с какими-то медленными процессами, происходящими на Марсе, и, наконец, быстрые видимые изменения в результате прохождения пылевых облаков и изменения прозрачности атмосферы Марса. Кроме того, видимость деталей Марса сильно зависит от их положения на диске и состояния земной атмосферы. Все эти факторы имеют переменный характер.

Наиболее заметными деталями на Марсе являются *полярные шапки*. В зависимости от наклона оси Марса и марсианского времени года на нем бывает видна то северная, то южная шапка, то обе сразу. Интересно следить за изменениями их размеров и очертаний, отмечая каждый раз их границы. Особенно интересны эти наблюдения около эпохи исчезновения или значительного уменьшения размеров шапки, когда ее очертания быстро меняются: она разделяется на части, иногда обрамляется темной каемкой и т. д.

Следующими по различимости деталями являются «*моря*» Марса. Наиболее темные из них хорошо видны на фоне «*материков*» (светлых областей). Хуже видны небольшие темные пятна («*оазисы*»), которые можно заметить далеко не всегда.

Приступая к зарисовке Марса, нужно помнить, что вследствие довольно быстрого вращения планеты вокруг оси, расположение деталей за время зарисовки может несколько измениться, поэтому процесс зарисовки не должен занимать больше 20—25 минут.

Сначала нужно по значению фазы, взятому из Астрономического Календаря, нанести положение терминатора. До противостояния терминатор расположен слева (при наблюдении в астрономический окуляр), после противостояния — справа. Около эпохи противостояния фаза близка к 1 и Марс выглядит полным диском.

Затем нужно нанести полярную шапку и общие контуры основных деталей. При этом надо сравнивать протяженность деталей и расстояния между ними с диаметром или радиусом планеты, иначе может получиться систематическое смещение всех деталей к северу или к югу.

После нанесения контуров основных деталей производим растушевку, стремясь передать соотношение интенсивностей дета-

лей. Яркие светлые пятна обводятся пунктиром. Мелкие детали наносятся уже по отношению к более крупным, но не к краям диска, так как иначе их расположение будет искажено вращением планеты.

Общие наблюдения и зарисовки деталей поверхности планеты (темных и светлых пятен и др.) полезно производить, применяя легкий оранжевый или красный светофильтр, повышающий контрастность деталей и устраняющий вторичный спектр.

Определение положения деталей. По рисункам Марса можно составить карту планеты при условии, что наблюдения охватывают не менее 30—40 дней. Дело в том, что из-за различия периода вращения Марса и солнечных суток на 37 минут каждую следующую ночь мы видим в тот же час на Марсе области с долготой на 9° меньше. Через 40 суток на центральном меридиане окажутся поэтому те же детали, что и в начале наблюдений. За это время перед наблюдателем пройдут все долготы Марса.

Однако недостатком этого метода является то обстоятельство, что при определении долгот деталей, отстоящих далеко от центрального меридиана, ошибка нанесения детали приводит к все возрастающей ошибке в определении ее долготы.

Поэтому для точного определения долгот и широт деталей и составления карты планеты можно рекомендовать другой способ, предложенный М. Бейером. Он заключается в том, что наблюдатель оценивает видимое расстояние детали от центрального меридиана (для определения долготы) и от экватора (для определения широты). Расстояние оценивается в долях видимого радиуса планеты. Для того чтобы этот метод давал хорошие результаты, нужно оценивать расстояние деталей, отстоящих не более чем на 0,5 видимого радиуса планеты от центрального меридиана. Точность оценки у опытных наблюдателей может доходить до 0,02—0,03 радиуса, у неопытных в начале наблюдений — 0,1, а после некоторой практики — 0,05 радиуса. При этом время наблюдения должно отмечаться с точностью до 1 минуты. Чтобы влияние фазы не сказывалось на величине видимого радиуса Марса, наблюдения по методу Бейера следует начинать не ранее чем за 10 дней до противостояния и заканчивать не позже чем через 10 дней после него. Такие наблюдения дают возможность определять долготы деталей с точностью до ±1°, а по наблюдениям за разные годы — судить об изменении координат деталей и даже выводить средний период вращения планеты (при наличии многолетних наблюдений).

Интенсивность и цвет деталей. Имея в своем распоряжении 130—150-миллиметровый апохромат или 150—200-миллиметровый рефлектор, можно вести наблюдения за изменениями окраски темных пятен («морей») Марса, связанными, как известно, со сменой времен года на планете.

Однако гораздо более полезны будут наблюдения интенсивности деталей Марса со светофильтрами. Рекомендуется применять

по крайней мере четыре светофильтра: красный, желтый, зеленый и синий. Зарисовки поверхности Марса надо производить с каждым светофильтром отдельно, отмечая интенсивность деталей в условной десятибалльной шкале, рекомендованной французским астрономом Вокулером.

В этой шкале темный фон ночного неба принимается за 10, а яркость полярной шапки в период марсианской весны — за 0. Но так как наблюдателю трудно запомнить яркость шапки весной на весь период наблюдений, можно принять в качестве второй основной точки шкалы среднюю яркость материков близ центра диска, равную 2. Таким образом, значение баллов этой шкалы будет примерно таково:

—1 — наиболее яркие участки полярной шапки;

0 — средняя яркость полярной шапки;

1 — светлые пятна, выделяющиеся своей яркостью на общем фоне материков;

2 — материки близ центра диска;

3 — наиболее слабые темные пятна: «моря», «озера» (например, Hesperia, Lacus Niliacus);

4 — средние по интенсивности «моря» (например, Mare Chronium, Mare Erythraeum);

5 — более темные «моря» (Mare Cimmerium, Syrtis Major);

6 — особенно темные «моря» и отдельные участки в них (Mare Sirenum, залив Sinus Gomer на северной оконечности Mare Cimmerium);

7 — наиболее темные участки «морей» (главным образом в период весеннего таяния полярной шапки);

8, 9 — детали такой интенсивности на Марсе не встречаются,

10 — фон ночного неба.

Необходимо, однако, иметь в виду, что интенсивность «морей», перечисленных выше, изменяется в довольно широких пределах. Поэтому интенсивность темных и светлых деталей надо сравнивать с интенсивностью материков близ центра диска, разделив мысленно интервал между ней и фоном неба на восемь частей.

Точность оценки в начале наблюдений составляет около 0,5 балла, но затем повышается, доходя у опытных наблюдателей до 0,2 балла.

В примечаниях надо отмечать контрастность деталей при наблюдении с каждым светофильтром отдельно, в частности, контраст между темными пятнами («морями») и сушей, а также между светлыми пятнами и сушей.

В один вечер желательно делать по три-четыре рисунка через каждый светофильтр с интервалами в 30—60 минут. Время каждой зарисовки должно отмечаться с точностью до 1—2 минут в момент нанесения самой отчетливой детали.

После окончания серии наблюдений из оценок интенсивности деталей в разные светофильтры можно получить специальные показатели цвета деталей, пропорциональные разности между

средними значениями интенсивности тех же деталей в зеленый и красный фильтр.

Наблюдения светлых пятен и облачных образований. Иногда на Марсе наблюдаются яркие белые пятна, представляющие собой, по-видимому, облака. Они лучше всего видны сквозь зеленый и синий светофильтры. Интересно проследить за изменениями положения и формы этих образований. Для этого нужно каждый раз тщательно отмечать на рисунке их границы пунктиром.

Изредка наблюдается образование больших белых пятен, видимых сквозь все фильтры от красного до зеленого, но невидимых в синий фильтр. Такие пятна, подобно наблюдавшимся с 23 по 31 августа 1956 г., представляют собой, по-видимому, твердые осадки на поверхности планеты.

Особое место занимают «желтые облака», видимые в желтый или красный светофильтр, а также без фильтра и имеющие, вероятно, пылевую природу. Наблюдения за перемещением этих облаков относительно «морей» и «материков» Марса дают возможность определить скорость и направление ветров, т. е. характер циркуляции в атмосфере планеты.

Иногда сплошной слой «желтой дымки» заволакивает обширные районы планеты. Примером тому является большая пылевая буря, разыгравшаяся на Марсе в конце сентября 1971 г. и продолжавшаяся свыше трех месяцев.

Значительно реже «желтых облаков» наблюдаются «синие облака», видимые лишь в синий светофильтр. Природа их окончательно не выяснена, но наиболее вероятно предположение о том, что они состоят из ледяных кристалликов.

При всех зарисовках Марса нужно обязательно указывать направление суточного движения небесного свода в виде стрелки (для этого надо остановить на время часовой механизм). Это необходимо для ориентировки рисунка.

Юпитер. Юпитер можно наблюдать даже в 60-миллиметровый телескоп. Из всех планет он представляет собой наиболее доступный объект для наблюдений в небольшие инструменты благодаря сравнительно большим видимым размерам и четкости деталей.

На поверхности Юпитера всегда наблюдается ряд темных полос, представляющих собой облачные образования в атмосфере планеты (рис. 143). Положение, ширина, интенсивность и цвет этих полос заметно меняются уже в течение нескольких месяцев. Закономерности, а следовательно, и причины этих изменений еще не установлены. Некоторые авторы пытались найти зависимость между ними и солнечной активностью, но определенных результатов получить пока не удалось. Поэтому наблюдения полос Юпитера, сравнительно несложные по своему характеру, могут иметь большое значение, особенно если они проводятся систематически.

Наблюдения полос. Целью этих наблюдений является изучение долгосрочных изменений их положений по широте, ширины,

интенсивности и цвета. Наблюдения могут заключаться в зарисовках вида поверхности планеты и в микрометрических измерениях широты и ширины полос.



Рис. 143. Рисунок Юпитера.

На диске планеты бывают видны следующие основные темные полосы:

N-тропическая,	S-тропическая,
N-умеренная	S-умеренная,
N-полярная	S-полярная.

Полярные полосы наблюдаются сравнительно редко. Обычно полярные области бывают закрыты общим потемнением — полярными шапками. Их границы отмечаются всегда весьма неуверенно. Изредка наблюдается тонкая экваториальная полоса (близ экватора).

Светлые пространства между полосами принято называть *зонами*. На Юпитере наблюдаются следующие основные зоны: экваториальная (между N- и S-тропическими полосами), N- и S-тропические (между тропическими и умеренными полосами), N- и S-умеренные (между умеренными и полярными полосами).

Для того чтобы можно было определить ширину и широту полос в различных участках, нужно поступать следующим образом. Прежде всего, наносятся контуры краев самых широких — тропических полос, причем сначала нужно наносить внешние края полос, а потом внутренние. Это удобно потому, что расстояние между внешними краями тропических полос сравнимо с расстояниями от этих краев до полюсов планеты, а с другой стороны, расстояние между внутренними краями этих полос сравнимо с шириной обеих полос. По отношению к тропическим полосам наносятся более слабые умеренные и полярные полосы, а также границы потемнений на полюсах — полярных шапок.

Наблюдения деталей. В качестве основной задачи этих наблюдений можно поставить изучение расположения различных образованный на диске Юпитера по высоте (глубине). Средством для решения этой задачи являются зарисовки наиболее характерных деталей и определение периодов их вращения вокруг оси планеты.

Детали на диске Юпитера можно наблюдать в телескопы от 120 мм и выше, но наиболее интенсивные детали, как, например *Красное пятно*, видны и в 80—100-миллиметровые телескопы. Чаще всего наблюдаются темные и светлые пятна, выступы и углубления в краях полос, темные мостики и вуали между полосами, разветвления полос (вилки) и др. Особенно интересным является Красное пятно, находящееся между южной тропической и южной умеренной полосами. Оно из года в год изменяет свой цвет, интенсивность и очертания и, кроме того, перемещается по долготе.

При зарисовке деталей нужно нанести сначала самую интенсивную деталь, а остальные наносить уже по отношению к ней. В первую очередь наносятся детали, находящиеся на левой (западной) стороне диска (ибо они вскоре скроются вследствие вращения планеты). Зарисовка должна занимать не более 10—15 минут, так как быстрое вращение Юпитера вокруг оси может привести к искажению картины. Рисунки должны производиться с часовыми интервалами. Для определения периода вращения Красного пятна и других интересных деталей можно отмечать моменты прохождения их через центральный меридиан планеты, делящий ее видимый диск пополам. При таких наблюдениях удобно иметь в фокусе окуляра вертикальную нить, которую нужно совместить с центральным меридианом планеты.

Большой интерес представляют наблюдения прохождения одних деталей над другими. Эти наблюдения могут дать указания на характер расположения полос и деталей Юпитера по высоте. Несколько раз наблюдались случаи, когда темная полоса делила светлое пятно пополам. Надо по возможности определять моменты прохождения таких деталей через центральный меридиан. Следует обратить внимание и на такие формы деталей, как светлые пятна на фоне темных полос и темные мостики между двумя

полосами. Как показывают наблюдения, они обычно весьма недолговечны.

Интенсивность полос и деталей надо оценивать по условной шкале, в которой баллом 6 оценивается интенсивность тени спутника на диске Юпитера, а баллом 0 — яркость экваториальной зоны. Самые темные пятна могут иметь интенсивность 5, самые яркие — интенсивность — 1.

В апохромат или рефлектор можно наблюдать цвет полос и деталей. Данные об их цвете могут дать также наблюдения их интенсивности со светофильтрами, которые ведутся так же, как и в случае Марса. Нужно производить независимые оценки интенсивности полос и деталей в каждый светофильтр отдельно.

Желательно обращать внимание на различия в цвете полос северного и южного полушарий планеты, поскольку для них заподозрена периодичность в изменении цвета. Особенно интересно наблюдать цвет Красного пятна в течение ряда лет. При всех наблюдениях подобного рода нужно не ограничиваться словесными описаниями цвета, а постараться выработать себе *цветовую шкалу* наподобие шкалы Остгофа, применяемой для определения цвета звезд и метеоров. Такая шкала сможет выработаться только в результате систематических наблюдений планеты с одним и тем же инструментом.

Сатурн. На поверхности Сатурна также наблюдаются темные полосы *) и детали, но они значительно слабее, чем на Юпитере, и доступны наблюдению только в 100—150 миллиметровый телескоп. Иногда на Сатурне появляются яркие белые пятна, подобно наблюдавшемуся в 1933 г. Такие пятна видны и в 80-миллиметровую трубу, и их наблюдения представляют большой интерес, особенно при использовании светофильтров. Желательно также определять периоды вращения этих пятен. В остальном наблюдения Сатурна не отличаются от наблюдений Юпитера.

Наблюдения колец Сатурна. До сих пор не разрешен до конца ряд вопросов, относящихся к строению колец Сатурна. К таким вопросам относятся: различие между внешним, средним и внутренним (креповым) кольцом в отношении размеров и свойств составляющих их частиц, причина колебаний относительной яркости восточного и западного ушек кольца и периодичность этих колебаний, толщина самого кольца и строение его в разрезе и т. д.

В свете этих вопросов наиболее ценными наблюдениями, которые доступны любителям астрономии, были бы наблюдения покрытий кольцами Сатурна звезд (до 8-й величины), во время которых блеск звезды сравнивается с блеском окружающих звезд одним из методов, применяемых при наблюдениях переменных звезд. Полученная в результате такого наблюдения кривая блеска затмеваемой звезды даст сведения о сравнительной плотности тех частей кольца, за которыми скрывалась звезда. К таким наблюде-

*) Не следует принимать за полосу тень кольца на диске Сатурна.

ниям нужно обязательно приложить схематический рисунок, показывающий, какими частями кольца покрывалась звезда, и список звезд сравнения. Эти наблюдения требуют тщательной подготовки: надо предварительно составить небольшую звездную карту данного участка неба (в пределах поля зрения телескопа), выбрать звезды сравнения. Такие покрытия происходят не часто; сведения о них публикуются в «Астрономическом циркуляре» АН СССР. Желающие заняться подобными наблюдениями должны обратиться в отдел планет и Луны Московского отделения ВАГО (см. с. 365), откуда можно получить все сведения об ожидаемых покрытиях.

В 80—100 миллиметровый телескоп можно следить за «делением Кассини», в котором иногда замечаются неправильности (сужения и расширения). Если такая неправильность будет замечена, за ней надо проследить по возможности подольше — несколько часов, а затем попытаться поймать ее в одно из следующих появлений (период вращения кольца у деления Кассини около 12 часов). Очень интересно наблюдать кольцо около моментов его исчезновения, когда оно становится ребром к Земле *). В это время нужно тщательно зарисовывать форму кольца, представляющегося в виде тонкой светлой ниточки с рядом утолщений и разрывов. Ближайшее такое исчезновение кольца Сатурна будет наблюдаться лишь в 1995 г. Небезынтересно также следить за формой тени Сатурна на кольце, так как в ней иногда замечаются неровности.

Фотографирование планет. Помимо визуальных наблюдений, любители, имеющие в своем распоряжении телескоп от 150 мм и выше, могут заняться фотографированием планет и даже получить снимки, имеющие научную ценность.

Фокусные расстояния рефракторов такого диаметра обычно составляют 2—3 м, у рефлекторов системы Ньютона — значительно меньше. Это значит, что снимки планет, полученные в фокусе объектива (зеркала) телескопа, будут иметь очень маленький масштаб. Так, диаметр изображения Юпитера в противостоянии при $F = 2$ м будет составлять 0,4 мм, диаметр изображения Марса почти вдвое меньше. Поэтому фотографировать планеты нужно с окулярным увеличением.

Мы опишем здесь устройство фотокамеры, с успехом применявшейся при фотографировании планет на 135-миллиметровом рефракторе.

В качестве корпуса камеры лучше всего использовать зеркальный фотоаппарат «Зенит». Преимущество его состоит в том, что зеркальная система позволяет наблюдать планету непосредственно перед съемкой и выбирать моменты успокоений в атмо-

*) Исчезновения кольца Сатурна бывают еще и от другой причины: когда Солнце и Земля находятся по разные стороны от плоскости кольца, обращенная к Земле сторона кольца не освещается Солнцем и поэтому не видна.

сфере для производства экспозиций. Кроме того, эта система облегчает наводку на планету и фокусировку. Фотографирование производится на 35-миллиметровую пленку.

Объектив из аппарата удаляется и на его место привинчивается металлическая переходная трубка, в которой закрепляется окуляр, служащий увеличительной системой. Другим концом трубка привинчивается к окулярному концу трубы телескопа. Положение окуляра в трубке должно быть выбрано в зависимости от его фокусного расстояния f, диаметра оправы d и желательного увеличения системы v, на основе соотношений

$$\frac{d}{r_1}=\frac{D}{F}, \quad v=\frac{r_2}{r_1}, \quad \frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}=\frac{1}{f},$$

где D и F — диаметр и фокусное расстояние объектива телескопа (величина D/F называется относительным отверстием), r_1 и r_2 — расстояния окуляра от главного фокуса объектива и от пленки соответственно.

Первое из приведенных соотношений вытекает из условия полного использования светового пучка, идущего от объектива телескопа, второе — это формула окулярного увеличения, третье — хорошо известная формула линзы. В случае сложного окуляра расстояния r_1 и r_2 отсчитываются от его главных точек, а d представляет собой диаметр линзы (или ее оправы), обращенной к объективу. Длина трубки будет примерно равна $r_1 + r_2$. Увеличение v следует брать от 5 до 10 раз.

Для устранения влияния хроматической аберрации объектива и улучшения качества изображения планеты лучше фотографировать со светофильтрами. Для этого в трубке делается прорезь, в которую вставляется металлическая рамка со светофильтрами. Размеры светофильтров должны быть таковы, чтобы каждый из них мог полностью перекрыть весь световой пучок. Если светофильтры хорошего качества, рамку можно поставить впереди окуляра, ближе к главному фокусу объектива. Если же светофильтры имеют местные дефекты (царапины и т. п.), рамку лучше поставить ближе к аппарату.

Фотографирование со светофильтрами может дать интересные результаты в отношении цвета деталей на планетных дисках, если известна кривая пропускания светофильтров и снимки будут калиброваны. О том, как это делается, мы расскажем ниже.

Экспозиции должны быть как можно короче, чтобы колебания воздуха за время экспозиций не испортили изображения планеты. Поэтому рекомендуется применять высокочувствительные сорта пленок (чувствительностью 130—250 единиц ГОСТ) типа «Изохром» или «Изопанхром», контрастные. С другой стороны, пленки высокой чувствительности имеют довольно большой размер зерна фотоэмульсии, и поэтому выбор чувствительности должен зави-

сеть от размера изображения планеты. Можно рекомендовать следующие предельные значения чувствительности пленок:

Диаметр изображения (мм)	1	1,5	2	4	6
Чувствительность (ГОСТ)	65	90	130	250	350

Подбор экспозиций производится путем получения ряда снимков при разных выдержках, возрастающих в геометрической прогрессии. Выбирается такая выдержка, при которой изображение планеты имеет среднее почернение и наибольшую контрастность деталей.

Можно рекомендовать для ориентировочного выбора выдержек следующую таблицу (для относительного отверстия объектива 1 : 16):

Планета	Чувствительность (ГОСТ)				Планета	Чувствительность (ГОСТ)			
	90	130	250	350		90	130	250	350
Венера	$0^{s},03$	$0^{s},02$	$0^{s},01$	—	Юпитер	$1^{s},2$	$0^{s},8$	$0^{s},4$	$0^{s},3$
Марс	0,3	0,2	0,1	$0^{s},07$	Сатурн	4,5	3,0	1,5	1,0

При ином относительном отверстии обьектива выдержку нужно изменить обратно пропорционально квадрату отношения этого относительного отверстия к тому относительному отверстию, для которого приводится таблица. Например, при $D/F = 1:8$ на пленке чувствительностью 250 ед. ГОСТ снимать Юпитер нужно с выдержкой 0,1 с.

Очень важным элементом подготовки к фотографированию планет является фокусировка камеры. Грубая фокусировка производится (для каждого светофильтра отдельно) по изображению планеты, видимому через зеркальную систему камеры «Зенит». Точная фокусировка производится по фотографическому изображению самой планеты или по следам звезд, полученным при выключенном часовом механизме. Нужно добиться, чтобы следы звезд были тонкими и резкими.

Процесс фотографирования камерой «Зенит» заключается в том, что наблюдатель, наведя телескоп на планету и установив положение фокуса и светофильтр, смотрит в окно камеры на диск планеты и ждет момента успокоения атмосферы. Когда диск планеты успокаивается, наблюдатель с помощью тросика производит экспозицию, после чего перематывает пленку на новый кадр, одновременно взводя затвор. Поскольку в большинстве случаев придется пользоваться выдержками, бо́льшими 1/25 с, надо потренироваться в производстве от руки выдержек в 0,1; 0,2; 0,3 с и т. д. Можно воспользоваться метрономом, а при больших выдержках — секундным маятником часов, открывая и закрывая затвор под его удары.

При фотографировании планет нужно обратить особое внимание на тщательную запись наблюдений в журнал. В журнале

должны быть указаны: номер пленки, номер кадра, дата, время (с точностью до 1 минуты), светофильтр, величина экспозиции, положение кремальеры. В примечаниях следует указывать условия наблюдений (ясно, дымка, Луна, рассвет и т. п.), а также все обстоятельства фотографирования, не перечисленные выше.

Чтобы полученные снимки можно было использовать в фотометрических целях, их нужно прокалибровать, т. е. впечатать на ту же пленку шкалу почернений от трубчатого фотометра или ступенчатого ослабителя. Для этого отрезанный кусок пленки вставляется в трубчатый фотометр *) и подвергается экспонированию. Источником света может служить белый экран, освещенный светом сумеречного неба или заходящего Солнца, а также равномерное по яркости пасмурное небо, поверхность свежевыпавшего снега и т. д. Фотометр должен быть прикрыт тем же светофильтром, который применялся при фотографировании планеты. Выдержки при калибровке должны быть близки к рабочим выдержкам. В журнале для калибровки надо отмечать номер пленки, условия калибровки (источник света, выдержки, светофильтр), дату и время.

Если калибровка производилась на отдельном куске пленки, обе пленки должны проявляться одновременно, в одном бачке.

Можно рекомендовать следующий рецепт проявителя для проявления снимков планет:

Проявитель Чибисова

Воды (при 50 °С)	750 см³	Соды кристаллической (или безводной	54 г 20 г)
Метола	1 г		
Сульфита кристаллического	52 г	Бромистого калия	1 г
Гидрохинона	5 г	Вод л долить до	1 л

Время проявления 6—8 минут при температуре 18—20 °С. Фиксирование производится в обычном кислом фиксаже. После фиксирования пленки нужно тщательно промыть в текучей воде в течение 45 минут и высушить.

После окончания фотографической обработки пленок их надо сопоставить с журналом наблюдений и аккуратно пронумеровать все снимки на самой пленке (простым карандашом по эмульсии или тушью по целлулоиду).

Дальнейшая обработка фотографий планет как для фотометрических целей, так и для определения координат деталей может производиться под руководством специалистов в случае наличия необходимого лабораторного оборудования (микрофотометр, измерительный прибор).

---

*) Об устройстве трубчатого фотометра см. книгу: Солнечное затмение 31 июля 1981 года и его наблюдение. — М.: Наука, 1980.

* * *

Все наблюдения планет нужно посылать в отдел планет Московского отделения ВАГО (103001, Москва, К-1, Садовая-Кудринская ул., д. 24). Оттуда же можно получить советы и указания по поводу организации и проведения наблюдений.

Литература

1. Барабашов Н. П. Инструкция для наблюдений Марса. — М.: Изд-во АН СССР, 1961.
2. Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение. — М.: Наука, 1979.
3. Исследования планеты Юпитер (сборник). — М.: Наука, 1967.

§ 5. Инструкция для наблюдений комет

В последние годы все более широкие круги любителей и специалистов-астрономов интересуются кометами и многие упорно ведут поиски комет на небе. Именно здесь они приносят очень большую помощь науке. За 5 лет, которые соответствуют периоду включения наблюдений комет в программу исследований Международного года Спокойного Солнца (1964—1968 гг.) из 23 новых комет 13, т. е. больше половины, были открыты любителями астрономии. У таких замечательных, прославивших свое имя ловцов комет, как К. Икейя или Ц. Секи в Японии, Дж. Олкок в Англии, Э. Эверхарт в Америке, в среднем на открытие одной кометы уходит 200—300 часов ночных наблюдений. Но бывают и такие случаи, как в октябре 1968 г., когда молодой любитель астрономии Бэлли, проверяя телескоп своего коллеги и отыскивая кольцеобразную туманность в Лире, «наткнулся» на новую комету. Что же нужно знать, чтобы искать и обнаруживать кометы?

Поиски комет. Нужно использовать безлунные часы ночи и выбирать место наблюдений, удаленное от освещенных городов или селений. При визуальных поисках наилучшим прибором может служить бинокулярная труба (например, бинокуляр «Асемби» Цейса, еще лучше БМТ-500). Однако может принести пользу и хороший призматический бинокль, или трубка АТ-1 для наблюдений искусственных спутников.

Бинокль или трубку необходимо укрепить на штативе, хотя бы самодельном, который позволял бы без всякого дрожания рассматривать поле зрения. При наблюдениях необходимо иметь атлас с нанесенными туманностями и звездными скоплениями и фонарик со щитком для освещения атласа. Можно заранее изучить по карте избранную область и не нарушать адаптацию глаз подсветками фонаря.

Выбранная область тщательно просматривается при перемещении бинокуляра или бинокля вдоль круга высот в определенной зоне. В ясную безлунную ночь с призматическим биноклем (6×30) можно в зените замечать объекты $9^m,5$—10^m; бинокуляр при увеличении 20—25$^\times$ позволяет наблюдать звезды до 11^m—$11^m,5$ (только в условиях хорошей прозрачности и отсутствия засветок

неба). Всякий подозрительный объект, выделяющийся своим внешним видом, намеком на туманную оболочку, должен тщательно рассматриваться с большим увеличением (в бинокуляр или трубу).

Как выбирать зоны для просмотра? Вообще на утреннем небе открывается больше комет, чем на вечернем, и это соответствует общим теоретическим соображениям (Эверхарт); однако отсюда вовсе не следует, что все ловцы комет должны просматривать только утреннее небо. Много может принести «Служба зари» — систематический просмотр неба, вечером в западной (зимой в юго-западной) области, утром перед восходом Солнца на востоке с целью обнаружения комет, выходящих из близости к Солнцу. В последние годы неоднократно таким образом открывались яркие кометы, хвосты которых появлялись сначала из-за горизонта, в сегменте зари. Поэтому наряду с систематическим упорным просмотром всех слабых объектов в поле зрения бинокуляра (трубы) нужно взять себе за правило тщательно проглядывать весь западный (вечером) или восточный (перед восходом Солнца) горизонты, чтобы не пропустить возможное слабое свечение хвоста кометы.

В первой половине ночи следует вообще просматривать «уходящее» небо — западную и юго-западную часть, идя полосами все выше, по направлению к зениту. В наших широтах (45—60°) представляет большой интерес и северное небо: например, известная комета Ахмарова—Юрлова—Гасселя (1939 III) была открыта на северном небе нашими северянами — любителями астрономии. Полярные районы неба вплоть до зенита можно наблюдать с еще бо́льшими удобствами, из-за меньшей скорости углового перемещения светил.

Наблюдатели должны иметь рядом с трубой звездный атлас, желательно Бечваржа, где указаны звезды до $8^m,5$ (этого мало), но туманности до $10—11^m$. Следует раздобыть и держать вблизи атласы Бечваржа: северного неба, эклиптикальной зоны и южного неба; там приведены звезды до $10—10^m,5$ и показаны их цветовые характеристики.

В планетариях и отделениях Всесоюзного астрономо-геодезического общества могут быть также копии Боннского Обозрения неба или различные фотографические атласы. Кроме того, нужно иметь часы с известной поправкой (следить по радио ежедневно), точной до секунды или нескольких секунд.

Сразу же после обнаружения подозрительного объекта следует проверить его место по атласу или списку туманностей и звездных скоплений и, убедившись в том, что объект новый, определить его положение. Следует просмотреть открытый объект со всеми возможными увеличениями; проверить, не является ли это планетой или известной уже кометой. Для этого необходимо иметь с собой «Астрономический Календарь» и последние 4—5 номеров «Кометного циркуляра», издаваемого кафедрой астрономии Киевского университета. Здесь публикуются эфемериды периодических комет и сообщения об открытиях новых комет.

Приближенные координаты заподозренного объекта следует измерить по сетке атласа, нанеся его положение среди звезд на кальке, наложенной на атлас. Окончательным подтверждением открытия может быть наблюдение смещения кометы среди звезд, заметное при увеличении в 100—150 раз уже через 10—20 минут. Здесь не нужно торопиться, но и не следует бездеятельно ожидать слишком долго. Необходимо подтвердить приоритет открытия и дать возможность специалистам скорее произвести точные определения положений кометы и другие наблюдения.

Открытие может считаться совершенно бесспорным, если довольно яркий объект 7-й—9-й звездной величины, или ярче, не совпадает с какими-либо туманностями в атласе Бечваржа, не является планетой или новой открытой до этого кометой.

Тогда нужно телеграфировать об открытии по адресам: Москва В-234, ГАИШ и Киев «Солнце». Нужно указать координаты кометы, эпоху атласа, время наблюдений, яркость, вид кометы и свою фамилию. Желательно указать также, как движется комета, приведя смещения $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$, пересчитанные на суточные и указав соответствующие знаки смещений. После отсылки телеграммы не следует бросать наблюдений, необходимо следить за кометой возможно дольше, отмечая положение ее среди звезд в точно фиксированные моменты времени, определяя блеск и изучая внешний вид кометы. На следующую ночь необходимо обязательно найти этот объект и продолжать наблюдения. Всегда может оказаться, что небо над большими обсерваториями неблагоприятно и судьба открытия будет зависеть от первых наблюдений. Часто бывало, что кометы открывались во время вспышки яркости и затем быстро ослабевали.

С историей открытий комет можно ознакомиться по книгам С. К. Всехсвятского: Физические характеристики комет. — М.: Физматгиз, 1958; Физические характеристики комет 1954—1960. — М.: Наука, 1966; Кометы 1961 — 1965. — М.: Наука, 1967 и Физические характеристики комет 1971—1975.—Киев; Наукова Думка, 1979. Однако здесь указаны лишь благополучные открытия, когда были произведены многочисленные наблюдения кометы и определена ее орбита; известен ряд случаев, когда не удалось собрать необходимых наблюдений и комета была потеряна *).

Наблюдения ярких комет. Появления ярких комет, видимых невооруженным глазом и обладавших заметными хвостами, — далеко не редкое событие. На протяжении последних 20 лет наблюдалось довольно много комет. Вот несколько примеров.

Длинный хвост кометы Вильсона — Хаббарда 1961 V, вышедшей из-за Солнца, был обнаружен сначала с высотных самолетов, а затем и с земли. Комета 1962 III была открыта еще сравнительно слабой любителями Секи (Япония) и Лайнсом (Америка) в начале

*) Описания открытий комет и кометоподобных объектов за текущие годы регулярно публикуются в Переменной части Астрономического Календаря.

февраля; в начале апреля она вышла после прохождения перигелия на северное небо с замечательными хвостами длиной 6—10°. В следующем году комета 1963 I, открыта 19-летним любителем астрономии К. Икейя (Япония), уже через месяц имела звездную величину 3—4^m, со струйчатым хвостом, который на фотографиях достигал 15—20°. В том же году комета 1963 III, открытая в марте английским любителем Дж. Олкоком, в конце мая увеличила блеск на две с половиной звездные величины и стала видна невооруженному глазу. Длинным (до 17—18°), быстро изменяющимся хвостом обладала комета 1964 VI, названная именами трех первых открывателей: Томиты—Гербера—Хонда.

Но самой замечательной кометой этого периода оказалась комета 1965 VIII, открытая Икейя и Секи. Проходя вблизи Солнца 21 октября, она стала столь яркой, что была видна днем; с конца октября, выйдя на утреннее небо, она представляла замечательное зрелище, с хвостом более 20—30°.

Две яркие кометы были открыты и в 1969 г. 10 октября японские любители астрономии Таго, Сато и Косака независимо открыли комету 1969 g, которая была тогда 10-й величины, но, приближаясь к Солнцу и Земле, достигла в конце января — начала февраля 1970 г. блеска $1^m,5$ и была прекрасно видна в Советском Союзе. Еще ярче была комета 1969 i, открытая 30 декабря 1969 г. Дж. Беннетом в Южной Африке, которая стала хорошо видна в СССР в конце марта — начале апреля 1970 г. Многочисленные фотографии этих комет, полученные советскими астрономами, были опубликованы в журнале «Земля и Вселенная» (№№ 4, 5 за 1970 г.). Две из них даны на рис. 144 и 145.

Наблюдения ярких комет, часто обладающих малым перигелийным расстоянием, представляет выдающийся интерес. Обычно в голове и хвосте таких комет происходят быстрые изменения, и каждая фотография, каждый рисунок может иметь серьезное научное значение. Необходимо использовать все возможности ясного неба для наблюдений яркой кометы, применяя для этого доступные средства. Прежде всего следует наладить фотографирование кометы; здесь пригодны любительские аппараты типа ФЭД, «Зоркий», «Киев», «Зенит» и любые другие камеры. Фотоаппарат желательно заранее укрепить на простейшем параллактическом штативе (который легко можно изготовить самому) или, в крайнем случае, на горизонтальной установке трубок для наблюдений спутников, или на подъемном столике. Жителю города следует выехать за 20—30 км и на возвышенной местности установить приборы. Время должно быть известно с точностью до 1 секунды. Для этого следует систематически сверять часы с радиосигналами времени.

При фотографировании ярких комет на высокочувствительную пленку (150—250 ГОСТ) может быть достаточна выдержка 1—4 минуты. О простейших устройствах для гидирования камеры по комете можно узнать, например, в книжке Ж. Вокулера

и Ж. Т е к с е р о «Фотографирование небесных тел» (М.: Наука, 1967). Важно освоить метод фотографирования и более слабых комет.

Рекомендуется не ограничиваться одним снимком, а получать для каждой ночи последовательные фотографии в течение всего периода видимости кометы. Уже первый опыт фотографирования комет должен показать, какие фотоматериалы и проявитель наиболее подходят. Сравнительное изучение фотографий может дать



Рис. 144. Комета Беннета. Фотография получена 5 апреля 1970 г. в г. Рыбинске (Ярославская обл.) учеником 8 класса В. Фроловым с помощью самодельного телескопа (выдержка 3 минуты).

важные сведения о характере изменений в комете. Представляют интерес и имеют определенное значение и визуальные наблюдения с биноклями, небольшими телескопами и даже невооруженным глазом. Отметив момент времени и ориентируясь по звездам, нужно нанести на кальке, скрепленной со звездным атласом, положение кометы и ее хвостов (которых может быть несколько) и оценить их длину, ширину, разрывы или неоднородности, как они видны невооруженному глазу, в бинокль или трубу. Следует обратить внимание на цвет кометы, особенности строения головы; у ярких комет ядро и внутренние части головы обычно бывают ярко-желтого цвета (излучение паров натрия) тогда как последовательные

оболочки головы и хвосты — зеленоватого или голубоватого цвета.

Важно вести такие наблюдения систематически, используя все ясные ночи. Много интересного может принести фотографирование спектра кометы с подходящей призмой перед объективом фотоаппарата. Ребро призмы, с углом порядка 60°, следует ориентировать параллельно направлению хвоста кометы. Закрепление

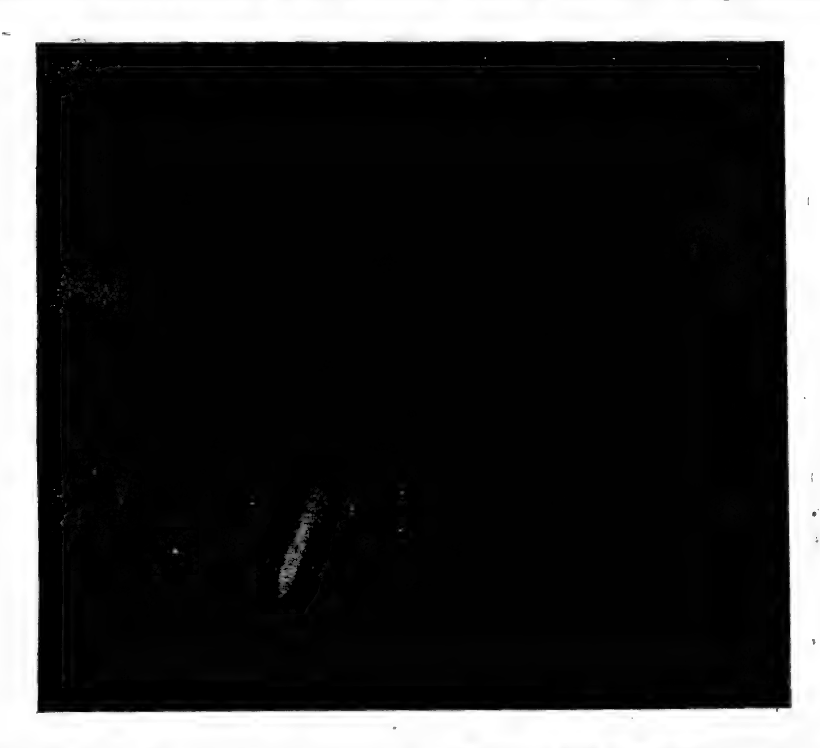


Рис. 145. Комета Беннета. Фотография получена 10 апреля 1970 г. Н. С. Черных на светосильной камере. Вверху — след искусственного спутника Земли.

камеры на столике или параллактическом штативе следует проделать заранее по яркой звезде или планете. Для рассматривания спектра яркой кометы можно воспользоваться даже школьным спектроскопом прямого зрения; здесь важно отметить и определить положение линий и полос в спектре, следить за их изменением.

Серьезное научное значение имеет определение блеска всей головы кометы и ее ядра. Такие наблюдения по отношению не только к ярким, но и к более слабым кометам можно особенно рекомендовать любителям астрономии.

Оценки интегрального блеска комет. Производятся с помощью трубы, бинокуляра или бинокля, а в случае комет ярче 5^m — не-

вооруженным глазом. Оценки делаются в сравнении со звездами, ближайшими к комете, по методу внефокальных изображений. Звезды выбираются и ярче и слабее кометы; их названия записываются в журнале наблюдений, или, если комета 7—9^m, они отмечаются условными обозначениями на схематической карте окрестностей кометы.

При сравнении внефокальных изображений кометы и звезд приходится учитывать, что звезды представляются более или менее равномерными кружочками, тогда как комета видна неравномерным пятном, значительно бо́льших размеров, с размытыми краями. Само сравнение рекомендуется проводить по методу Блажко—Нейланда (см. § 17, гл. IV).

После приобретения необходимого опыта оценки делаются весьма уверенно. Можно производить также сравнение фокальных изображений кометы с внефокальными изображениями звезд, когда размеры внефокальных изображений звезд доводятся до угловых размеров головы кометы. Этот метод сложнее, так как здесь перед тем как изображения звезд выводятся из фокуса, приходится запомнить яркость головы кометы.

Имея школьный телескоп или другую астрономическую трубу, можно для оценки использовать прием, предложенный А. Н. Воловым (в Москве) и применявшийся М. Бейером (Гамбург — Бергедорф) уже более 40 лет. Он основывается на таком значительном выдвижении окуляра из фокуса, чтобы полностью пропадало изображение звезды или кометы; соответствующая степень выдвижения окуляра для звезд и кометы отчитывается на окулярной трубке, после чего можно вычислить звездную величину кометы по экспериментально найденной зависимости «выдвижение — звездная величина».

Оценки блеска головы кометы или ее ядра можно производить и по фотографическим пластинкам, подбирая соответствующие величины звезд сравнения. Величины звезд сравнения приводятся в различных каталогах, о которых можно узнать, например, в книгах «Что и как наблюдать на небе» В. П. Цесевича или «Справочник любителя астрономии» П. Г. Куликовского. Хорошей основой могут служить звезды Северного Полярного Ряда или звезды Плеяд, с которыми можно сравнить выбранные звезды сравнения.

Группы любителей астрономии в Польше, в США и других странах занимаются наблюдениями комет и определением их визуального блеска. На основании сопоставления многочисленных наблюдательных данных выводятся колебания блеска комет, которые зависят от состояния солнечной активности и, главным образом, от действия на комету корпускулярных потоков и солнечного ветра в межпланетном пространстве.

Желательно делать несколько оценок блеска за вечер или за ночь. Известны случаи, когда кометы почти на глазах наблюдателей «вспыхивали», увеличивая свой блеск в несколько раз,

а иногда и в несколько десятков раз. К таким вспыхивающим кометам принадлежали комета Понса—Брукса (с периодом 70 лет), открытая впервые в 1812 г. и наблюдавшаяся в 1884 и 1954 гг., и знаменитая вспыхивающая комета Швассмана — Вахмана I (открыта в 1927 г.) с круговой орбитой и периодом в 16 лет, движущаяся на расстоянии 5,5—6,5 а. е. от Солнца. Резкую вспышку блеска 27 мая 1963 г. испытала и параболическая комета 1963 III (Олкока), увеличившая блеск за несколько часов в 5—6 раз.

Телескопические наблюдения комет. В народных обсерваториях, в обсерваториях планетариев, школ или пединститутов многие любители могут проводить телескопические наблюдения комет. С инструментом (рефрактором или рефлектором) в 4—8 дюймов (10—20 см) можно с успехом следить за кометами до $10-11^m$, а при отсутствии засветки неба (т. е. за городом) даже и до 12^m.

Для более квалифицированных наблюдений комет необходимо тщательно отрегулировать установку телескопа и отсчетные круги (часовой и склонения), чтобы обеспечить точную наводку телескопа по координатам кометы и хорошее ведение инструмента. Нужно обеспечить в башне время с точностью до секунды, регулярно получать поправки часов. В башне необходимо иметь «Астрономический Ежегодник СССР» на текущий год и атласы неба, желательно Бечваржа или А. А. Михайлова (со звездами до 8,25 зв. вел.). Если телескоп не имеет окулярного микрометра с неподвижными и подвижными нитями, то можно воспользоваться широкоугольным окуляром, дающим увеличение 100—150 раз, и жестко связать с ним указатель разделенного круга, укрепленного на окулярной части телескопа, и закрепляющее устройство. Это даст возможность отсчитывать позиционные углы деталей в комете. Сам окуляр следует превратить в кольцевой микрометр. На внутренней или внешней диафрагме окуляра (для отрицательной или положительной системы) нужно укрепить кольцо, на котором и натянуть систему паутинных нитей, сделав для них предварительно насечку на возможно более точно измеренных местах — 5—7 горизонтальных нитей и три вертикальные. Горизонтальные нити располагаются приблизительно через 0,5 мм. Для двухметровой трубы расстояние между горизонтальными нитями будет соответствовать приблизительно 50″. Эта работа потребует большой тщательности выполнения. Нити нужно, закрепив на концах свинцовые грузики, проварить в кипятке и располагать по насечкам, чтобы они растянулись; закреплять их нужно лаком, но не масляным *).

Зато, если после нескольких неудач будет достигнут успех, инструмент будет оборудован важным прибором, который позволит

*) Вместо паутинных нитей можно вставить в окуляр стеклянную пластинку со штрихами (например, от измерительной лупы). Об устройстве микрометра и работе с ним см. также с. 276.

вести разнообразные наблюдения. Специальными наблюдениями нужно будет определить со всей возможной точностью угловые расстояния между горизонтальными нитями, исследовать их параллельность и другие особенности микрометра.

Определение положения комет. С окулярным нитяным микрометром или кольцевым микрометром можно производить определение положений комет на небе с точностью порядка $0^s,1$ по α и $1'' - 0'',5$ по δ. После того как комета обнаружена по эфемериде (эфемериды публикуются в «Кометном циркуляре» кафедры астрономии Киевского университета, который высылается всем наблюдателям комет), двигая телескоп по часовому углу, нужно найти впереди или сзади кометы (по суточному движению) достаточно яркую звезду $7-9^m$, которая могла бы находиться на картах Бечваржа и в каталогах точных положений. Звезда устанавливается на центральной горизонтальной нити, проходящей через центр поля зрения. При неподвижной трубе по часам отмечаются точные моменты исчезновения и появления звезды при прохождении окулярного кольца и независимо, по секундомеру, промежуток времени видимости звезды внутри кольца. Не смещая трубу, наблюдатель может записать показания часов и секундомера и приготовиться к наблюдению прохождения кометы.

Комета будет проходить выше или ниже звезды в поле зрения, причем время ее прохождения приблизительно известно заранее (по разности прямых восхождений). По часам отмечаются точные моменты исчезновения и появления кометы из-за кольца (два исчезновения и два появления), а с секундомером — независимо время прохождения кометы внутри кольца. Оно должно быть меньше времени прохождения звезды, так как комета будет идти не по диаметру, а по хорде. Внутренний (r') и внешний (r'') радиусы кольца могут быть точно измерены по времени прохождения звезд. Среднее значение $(r' + r'')/2 = r$. Координаты звезды α и δ известны, приблизительные значения для кометы $\alpha_к$, $\delta_к$ даются в эфемериде или могут быть оценены с помощью кругов телескопа. Вообще же не обязательно пропускать звезду через центр кольца. Тогда вместо r' и r'' будем иметь хорды a_1' и a_1'', а для кометы — a' и a''.

Если в общем случае τ_1, τ_2, τ_3 и τ_4 — моменты исчезновения и выхода из-за кольца для кометы и t_1, t_2, t_3, t_4 — для звезды в секундах времени, считая от некоторого нулевого момента, то

$$\frac{a' \pm a''}{2} = \frac{15}{4}[(\tau_4 - \tau_1) \pm (\tau_3 - \tau_2)] \cos \delta_к,$$

а для звезды также

$$\frac{a_1' \pm a_1''}{2} = \frac{15}{4}[(t_4 - t_1) \pm (t_3 - t_2)] \cos \delta$$

в секундах дуги. Учитывая, что

$$\frac{a' + a''}{2r} = \sin A_{к} \quad \text{и} \quad \frac{a' - a''}{2r} = \sin B_{к},$$

найдем разность между склонением кометы и склонением центра колец D:

$$\delta_{к} - D = r \cos A_{к} \cdot \cos B_{к}.$$

Аналогично для звезды:

$$D - \delta = r \cos A \cdot \cos B.$$

Разность или сумма этих выражений дает $\delta_{к}$—δ — разность склонений звезды сравнения и кометы. Разность прямых восхождений

$$\alpha - \alpha_{к} = \frac{(t_1 + t_2 + t_3 + t_4) - (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4)}{4}.$$

В найденные координаты кометы должны быть внесены далее небольшие поправки за дифференциальную рефракцию и за смещение кометы при ее прохождении кольца в результате движения по небу (об этом см. с. 276).

После приобретения необходимого опыта кольцевой микрометр, как показывают наблюдения, может давать хорошие результаты, имеющие научную ценность. Желательно иметь в башне часы, идущие по звездному времени, однако находить комету по координатам можно также, привязываясь к какой-нибудь звезде, координаты которой приводятся в ежегодниках. Вначале телескоп наводится на звезду, а затем труба смещается по кругам в соответствии с разностью координат звезды и кометы.

Стационарный телескоп обсерваторий школ, пединститутов и планетариев весьма целесообразно оборудовать постоянным астрографом для фотографирования комет и определения их положений. Светосильный объектив с фокусным расстоянием 50—100 см может послужить для изготовления астрографа, который сможет участвовать в важной Службе комет.

Наблюдение деталей кометы в голове и хвосте. Нити, натянутые в окуляре, и позиционный круг, установленный на окулярном конце трубы, позволят измерять различные детали головы и хвоста яркой кометы. Очень важно оценить размеры видимого ядра или центрального сгущения, если оно выделяется с достаточной определенностью. На основании известных угловых расстояний между нитями (или штрихами окулярного микрометра) такую оценку можно произвести с точностью до нескольких секунд. Таким же образом важно оценить расстояния от ядра до различных деталей головы или хвоста (границы различных оболочек, расстояния до вершины головы, ширина, отдельные сгущения, лучи, темные промежутки в хвосте и т. п.) и вместе с тем измерить их позиционный угол относительно ядра.

Нуль-пункт позиционного угла (отсчитывается от северного направления круга склонения через восток) устанавливается по суточному движению звезд. Важным наблюдением является определение позиционного угла хвоста. У ярких комет положение хвоста определяется по соседним звездам. Если α_1, δ_1 и α_2, δ_2 — координаты двух звезд, проектирующихся на ось хвоста, то позиционный угол p этой части хвоста будет определяться выражением (для случая, когда видимые расстояния до звезд невелики)

$$\sin p = \frac{\sin [(\alpha_2 - \alpha_1)^\circ \cos \delta_2]}{\sin [(\alpha_2 - \alpha_1)^{\circ 2} \cos^2 \delta_2 + (\delta_2 - \delta_1)^{\circ 2}]^{1/2}},$$

где α_2 и δ_2 — координаты звезды, более удаленной от ядра; квадрант p определяется знаками разностей α и δ. Позиционный угол начала хвоста определяется, если вместо α_1 и δ_1 взять координаты ядра кометы α_0, δ_0.

Положение средней линии хвоста можно сравнить с направлением проекции на небе продолженного радиуса-вектора кометы — линии, соединяющей Солнце и ядро кометы.

Координаты точек продолженного радиуса-вектора на небе должны отвечать соотношению:

$$\sin (\alpha_0 - \alpha) \operatorname{tg} \delta_\odot = \sin (\alpha - \alpha_\odot) \operatorname{tg} \delta_0 - \sin (\alpha_0 - \alpha) \operatorname{tg} \delta,$$

откуда, задавая значения α, можно находить δ для точек продолженного радиуса-вектора. Позиционный угол может быть вычислен по формуле

$$\operatorname{tg} p = \frac{\sin (\alpha - \alpha_0)}{\cos \delta_0 \operatorname{tg} \delta - \sin \delta_0 \cos (\alpha - \alpha_0)},$$

где α_0, δ_0 и α, δ — координаты ядра и какой-нибудь точки продолженного радиуса-вектора. Координаты Солнца $\alpha_\odot$ и $\delta_\odot$ берутся из Ежегодника для момента наблюдения.

Угол между средней линией хвоста и продолженным радиусом-вектором вообще характеризует тип хвоста по Бредихину. Однако у хвостов I типа (тонких, неоднородных, лучистых) колебание значений p указывает на активность хвоста, на быстро меняющиеся условия в межпланетном пространстве.

Поляриметрические наблюдения. Телескоп может быть использован для проведения визуальных поляриметрических наблюдений комет. Еще почти полтора столетия назад визуальные наблюдения Араго указали на значительную степень поляризации света комет.

На телескопе в качестве поляризующего устройства может быть использован поляроидный фильтр (поляризационный светофильтр), который можно достать в магазинах школьного оборудования или в фотомагазинах. Поляроидный фильтр может быть укреплен на окуляре телескопа (так, чтобы его можно было вра-

щать относительно оси телескопа) и снабжен простейшим устройством для отсчета углов поворота.

Через фильтр рассматривается изображение кометы, чтобы подметить, не меняется ли яркость изображения или отдельных деталей головы кометы и хвоста при вращении поляроида в его плоскости. Положение поляроида, при котором изображение кометы всего сильнее ослабевает, позволяет найти направление плоскости поляризации в комете — оно на 90° при этом будет отличаться от плоскости поляризации фильтра, положение которой указано на оправе фильтра. Отмечая, как сильно изменяется яркость изображения при вращении поляроида, можно приближенно оценить степень поляризации света кометы. Но и при отсутствии телескопа наблюдения через поляроид головы и хвоста яркой кометы могут представить большой интерес. Необходимо лишь, чтобы такие наблюдения проводились в местах, далеких от ярких источников света (за городом), по возможности в течение всего периода видимости кометы. Следует вести подробную запись наблюдений и отмечать все изменения, которые могут происходить в особенностях свечения кометы. Визуальные поляриметрические наблюдения представляют очень интересную задачу для любителей астрономии, потому что здесь с очень скромными средствами могут быть получены важные сведения о быстрых изменениях, которые вполне возможны в хвосте и особенно в голове кометы.

Параллельно с визуальными наблюдениями можно наладить фотографические наблюдения поляризации ярких комет. Для этого следует собрать агрегат из трех однотипных любительских аппаратов (например, «Зоркий»), снабженных поляризационными фильтрами. Положение плоскости поляризации фильтров должно отличаться у трех аппаратов на 60°. Такой агрегат можно установить на параллактической монтировке, например, школьного телескопа. Производя одновременные и одинаковые экспозиции, например, с помощью устройства, показанного на рис. 187 на с. 494 (при выборе экспозиции необходимо учесть, что поляроидные фильтры поглощают не менее 30—40% неполяризованного излучения), получим три фотографии кометы.

На каждой из полученных таким образом одновременных фотографий должно быть указано положение плоскости поляризации фильтра (например, по отношению к кругу склонения кометы), дата, момент и продолжительность экспозиции, координаты кометы, фамилия наблюдателя. Чтобы фотографии можно было исследовать фотометрически, на них (или на другом кадре той же пленки) следует нанести фотометрическую шкалу — сделать внефокальный снимок области ярких звезд или впечатать ступенчатый клин, трубочный фотометр и т. д. О дальнейшем использовании таких фотографий можно узнать в [3].

Любителям астрономии открывается широкое поле деятельности в области наблюдений и исследований комет. Группа по исследованию комет Межведомственного геофизического комитета

приглашает энтузиастов включиться в дело поисков и наблюдений комет, чтобы занять свое место в советской Службе комет, а может быть, и в истории астрономии.

Литература *)

1. Всехсвятский С. К. Природа и происхождение комет и метеорного вещества. — М.: Просвещение, 1967.
2. Добровольский О. В. Кометы. — М.: Наука, 1966.
3. Инструкция по наблюдениям комет в период МГСС, — М.: 1963.
4. Орлов С. В. О природе комет. — М.: Изд-во АН СССР, 1958.
5. Фотометрия комет: Сборник. — Киев: Наукова думка, 1966.

§ 6. Инструкция для наблюдений метеоров

Общие принципы организации наблюдений. Необходимо ясно представлять себе, для получения каких сведений проводится данный вид наблюдений метеоров. Например, нанесение путей

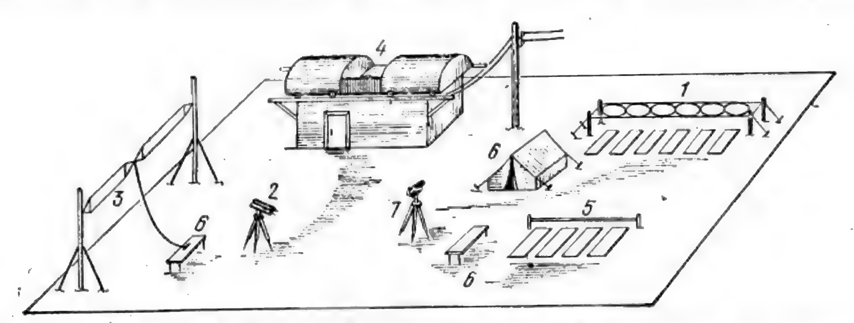


Рис. 146. Примерный вид метеорной станции. *1* — рамка, *2* — бинокуляр, *3* — антенна радиоприемника, *4* — павильон с патрулем, *5* — топчаны для наблюдателей телеметеоров, *6* — место секретаря, *7* — фотокамера для съемки следов метеоров.

метеоров на карту делается для определения радиантов, счет — для определения численности метеоров, фотографирование — для получения их точных скоростей и т. п. Исходя из задач и возможностей, надо четко сформулировать программу. Ценность наблюдений резко возрастает, когда наблюдения проводятся группой наблюдателей. Многие виды наблюдений (многократный счет, базисное фотографирование) вообще нельзя вести в одиночку.

Большое значение имеет хорошо оборудованный стационарный пункт наблюдений. Станция должна располагаться вдали от источников сильного света; в больших городах и в их ближайших окрестностях метеоры наблюдать нельзя. Обычно организуется один основной и несколько корреспондирующих пунктов на расстоянии 20—25 км. Основной пункт должен иметь энергопитание для патруля и удобства для наблюдателей (рис. 146). Базисы и координаты пунктов измеряются с возможной точностью.

*) В дополнение к указанным книгам рекомендуем читателю книгу К. И. Чурюмова «Кометы и их наблюдение».—М.: Наука, 1980 (*Прим. ред.*).

Выбор периодов наблюдений связан с задачами наблюдений. Начинать надо с интенсивных, хорошо проявляющихся метеорных потоков: Персеид, Дельта-Акварид, Геминид и т. п., а затем переходить к более сложным наблюдениям. Луна допускает наблюдения в течение 15—20 дней в месяц. При прочих равных условиях интервалы наблюдений желательно располагать симметрично относительно местной полуночи.

Записи при наблюдениях ведутся простым карандашом, а на следующий день переписываются чернилами. Они должны быть настолько исчерпывающими, чтобы их могло понять и использовать любое лицо, не участвовавшее в данных наблюдениях. Во всех возможных случаях освещения при записях надо избегать совсем.

Любые записи наблюдений метеоров должны включать в себя следующие общие данные: 1) дата (год, месяц, число) с учетом, что ночные наблюдения захватывают обычно двое суток; 2) поправка и ход часов, время: московское, всемирное и т. п.; 3) место наблюдений, название пункта; 4) какие наблюдения проводятся; 5) фамилии наблюдателей; 6) характеристики применяемых инструментов: поле зрения, увеличение и т. п. Без этих данных наблюдения теряют научную ценность.

Полная обработка и интерпретация наблюдений требуют, как правило, участия специалиста высокой квалификации, измерительных приборов, каталогов и т. п., чем любитель может не располагать. Однако предварительная обработка и систематизация материала лежат на обязанности наблюдателя. Наблюдателю также должны быть известны основные принципы обработки. Это гарантирует от грубых упущений в наблюдениях.

Нанесение метеоров на карту и определение радиантов. Основные задачи нанесения метеоров на карту, таковы: 1) *подтверждение теоретических кометных радиантов*, 2) *определение положений и смещения слабых малоизученных радиантов*, 3) *изучение распределения малых радиантов на небесной сфере*.

Наблюдения слабых и кометных радиантов, дающих один-два метеора в час, надо производить в эпоху их действия, которая приводится в соответствующих каталогах (отдел «Таблицы», табл. 8, 9). Наблюдения можно производить практически в любой безлунный период. При этом не следует упускать возможности обнаружения нового, не занесенного в каталоги радианта. Через год можно повторить попытку вновь обнаружить наблюдавшийся радиант.

Метеоры летят в атмосфере практически по прямым линиям, поэтому их пути на небесную сферу проектируются в виде больших кругов. Только на гномонической (центральной) проекции большой круг изображается прямой линией. Существуют звездные карты, вычерченные в этой проекции, но пользоваться ими при наблюдениях неудобно, так как на краях карты получаются сильные искажения, и поэтому при наблюдениях пользуются любой удобной для данной области неба картой (с масштабом

не менее 2—4 мм/градус), а последующую обработку уже производят на гномонической карте. Для наблюдений можно использовать «Звездный атлас» (малый) А. А. Михайлова. Чтобы не портить карты атласа, следует скопировать область неба на чистый лист бумаги. Достаточно иметь карту области поперечником 80—100°. Карту надо наколоть на лист фанеры. Наблюдатель располагается в удобной позе — сидя или лежа. Цель наблюдений

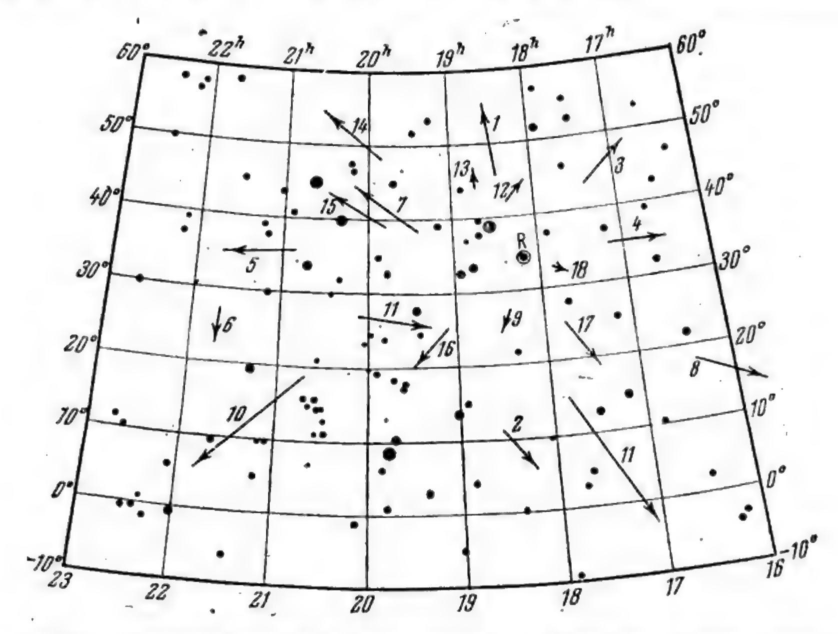


Рис. 147. Нанесение метеоров на карту (атлас А. А. Михайлова, область Лирид).

заключается в возможно более точном нанесении метеора на карту, поэтому не нужно стараться нанести непременно все наблюдавшиеся метеоры. При полете метеора надо, некоторое время не сводя глаз с неба, запомнить путь метеора. При этом можно пользоваться линейкой, которую наблюдатель держит на вытянутой руке параллельно метеору. После этого наблюдатель наносит метеор на карту (рис. 147) и записывает следующие данные:

1) Номер метеора, который ставится также у нанесенного на карту метеора; 2) момент с точностью до минуты; 3) звездная величина метеора *m*; 4) угловая длина метеора в градусах λ; 5) угловая скорость ω в условных обозначениях: 6 — быстрый, 4 — средний, 2 — медленный, 0 — неподвижный, «стационарный»; 6) цвет: *к* — красный, *о* — оранжевый, *ж* — желтый, *з* — зеленый, *г* — голубой, *с* — синий, *б* — белый, *ф* — фиолетовый; 7) примечания о наличии следов, вспышек и т. д.

Бланк для записи может иметь следующий вид:

Журнал для нанесения метеоров на карту
Общие данные о наблюдениях (см. с. 378)

№	Момент	m	λ	ω	Цвет	Примечания
18	2 ч 31 мин	3,5	12°	6	*ж*	след 2 с

Физические данные: m, λ, ω, цвет — помогают определить принадлежность метеора к данному радианту. Продолжительность чистого времени наблюдений в каждую ночь должна быть не менее двух часов, так как при меньшем интервале слабые радианты могут

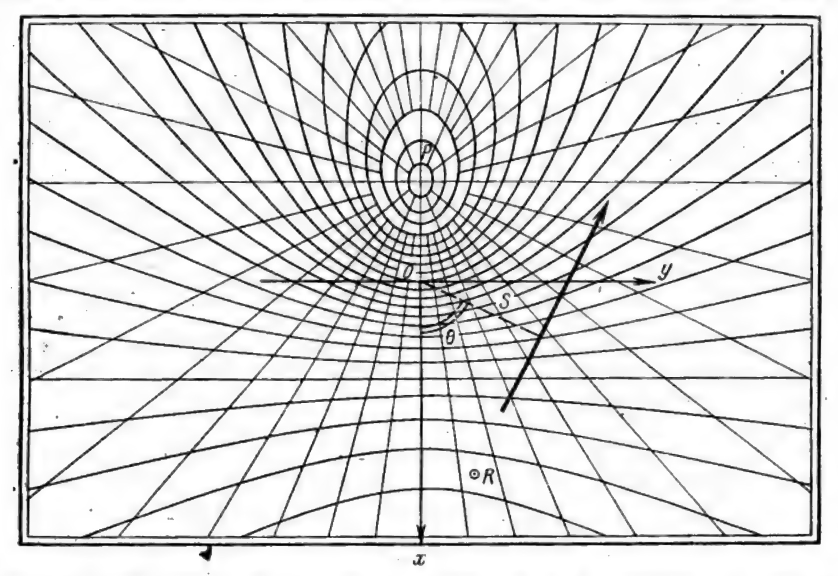


Рис. 148. Сетка Лоренцони. Параллели нанесены через 5°, меридианы — через 10°.

себя не проявить. Особую ценность имеют наблюдения в течение нескольких последовательных ночей. За это время можно проследить время существования, смещение и изменение активности радианта.

Обработка наблюдательного материала начинается с перенесения зарисованных метеоров на карту с гномонической сеткой. Обычно при метеорных работах используют карту в гномонической проекции с касанием проективной плоскости к небесной сфере в точке со склонением $\delta = 45°$ (сетка Лоренцони) (рис. 148). Точки пересечения линий продолжения метеоров назад могут, вообще говоря, быть радиантами. Однако всегда

наблюдается значительный процент (50%) *спорадических метеоров*, не принадлежащих потокам. Образованные ими пересечения являются фиктивными радиантами.

В. В. Федынский и В. А. Мальцев предложили критерий, согласно которому радиант считается реальным. При этом должно выполняться одно из следующих условий: 1) пересекаются пути не менее трех метеоров, наблюдавшихся в одну ночь, или 5 в две смежные ночи, отношение угловой длины λ к элонгации ψ для всех метеоров приблизительно постоянно, физические свойства метеоров близки между собой; 2) из всех наблюденных в одну ночь метеоров в радианте пересекается следующее число продолженных путей метеоров: 4 из 10, 6 из 40, 7 из 60, 8 из 80 и 10 из 100; 3) убедительным доказательством существования радианта является стационарный метеор (летящий прямо на наблюдателя). Иногда радиант выявляется в процессе наблюдений, когда несколько метеоров в течение короткого времени (1—2 минуты) вылетают из одной точки «пачками».

При нанесении метеоров на карту наблюдатель допускает удлинение или укорочение, перемещение вперед или назад, перемещение в сторону, поворот траектории, — в результате площадь радианта преувеличивается. Нормальным считается, если пути метеоров пересекаются в кружке с радиусом 1,5—2°, а за радиант принимается центр тяжести площади пересечений.

Точка пересечений находится на гномонической сетке обычно графически, но, когда метеоров много, есть возможность определить радиант более точно — аналитически. На сетке Лоренциони строится прямоугольная система координат и составляется для каждой линии метеора ее уравнение (см. рис. 148)

$$x \cos\theta + y \sin\theta = s,$$

затем система уравнений решается методом наименьших квадратов (см. § 3, гл. VI).

Полученные из наблюдений радианты следует занести в каталог, причем надо указать количество метеоров, относительную активность, эпоху и продолжительность действия. Если радиант существовал долго, можно по наблюдениям в разные ночи установить его смещение.

Многократный счет метеоров и определение плотности метеорных потоков. Счет метеоров служит для определения важнейших характеристик метеорных потоков: *плотности метеорных потоков и функции светимости*, т. е. распределения метеоров по блеску. При систематических наблюдениях можно также изучить *структуру потока*, т. е. распределение метеорных тел различной массы в потоке и вообще в межпланетном пространстве.

Для того чтобы ограничить наблюдаемую область неба, счет метеоров ведется через рамку (рис. 149). Рамка должна быть такого размера, чтобы вырезать на небесной сфере круглую область поперечником 50—60°. Под одной рамкой может размещаться

несколько наблюдателей (лежа, головой к центру), поэтому она должна быть достаточно большой.

Круг укрепляется на четырех столбах, расположенных на юге, севере, западе и востоке. Это облегчает ориентировку. Под рамкой устраивается дощатый настил, на который кладутся маты. Такое оборудование позволяет вести наблюдения и в холодную погоду. Вместо одной большой рамки можно соорудить несколько маленьких, например диаметром 1 м, для каждого наблюдателя в отдельности. Область неба должна быть у всех наблюдателей одной и той же. При некоторых наблюдениях (например, параллельно с радиолокатором) приходится брать центр области не в зените.

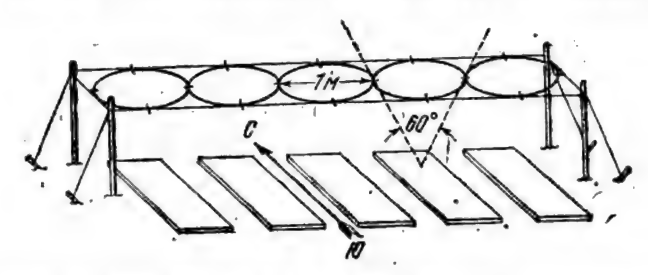


Рис. 149. Рамка для счета метеоров для пяти наблюдателей, располагающихся рядом. Диаметр колец 1 м.

Один наблюдатель не замечает все метеоры. Чтобы характеризовать внимательность наблюдателя, вводится величина p, называемая *коэффициентом замечаемости*, который неодинаков для метеоров различных звездных величин.

Блеск метеора	0^m	1^m	2^m	3^m	4^m	5^m	6^m
Коэффициент замечаемости	1,00	0,95	0,80	0,51	0,25	0,05	0,001

Это — средние величины; у разных наблюдателей они сильно различаются и несколько меняются со временем. Чтобы учесть все метеоры, необходимо вести многократный счет. Он заключается в том, что несколько наблюдателей одновременно считают метеоры в одной и той же области и при этом регистрируют общие и необщие между наблюдателями метеоры. Из таких наблюдений, по законам математической статистики, можно найти p для каждого наблюдателя и определить истинное число пролетевших в данной области метеоров.

Техника многократного счета может быть различной, в зависимости от того, лежат ли наблюдатели под одной большой рамкой или в целях полной независимости размещаются на расстоянии нескольких десятков метров друг от друга. В первом случае между

наблюдателями и секретарем (который сам не наблюдает) существует связь голосом, во втором — от каждого наблюдателя к секретарю для фиксирования момента проводится электрическая сигнализация. В первом случае общность метеора устанавливается непосредственно во время наблюдений. Секретарь при этом сообщает общий для всех наблюдателей номер метеора и записывает момент пролета. Характеристики метеора записываются под этим номером каждым наблюдателем самостоятельно вслепую (не отрывая глаз от неба) на полоске бумаги, сложенной гармошкой.

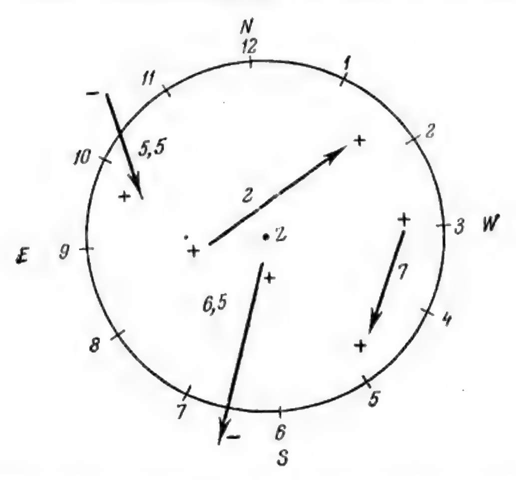


Рис. 150. Определение положения (+ —) и направления метеоров по «правилу циферблата».

Характеристики могут также записываться секретарем под диктовку одного из заметивших метеор наблюдателей. Другие наблюдатели, заметившие этот же метеор, говорят свою оценку звездной величины.

При работе с электрической сигнализацией записи ведутся вслепую. Наблюдатель не знает, кто кроме него заметил метеор. Общность и моменты устанавливаются уже при сравнении и переписке записей наблюдателей и секретаря. Во время наблюдений следует соблюдать строгую тишину. При счете метеоров регистрируются следующие данные (помимо общих сведений):

1) общий для всей группы наблюдателей номер метеора за данную ночь (сообщается секретарем);

2) момент пролета метеора с точностью до минуты (устанавливается секретарем) T;

3) звездная величина метеора (максимум блеска) m;

4) угловая скорость ω;

5) направление метеора, которое измеряется в часовой мере (по «правилу циферблата»), причем за 12 часов принимается точка севера (рис. 150);

6) принадлежит ли метеор к потоку или он спорадический;

7) положение метеора относительно рамки: если начало и конец метеора лежат внутри рамки, то ставится знак (+ +); если начало вне, а конец внутри рамки, то (—+); если начало внутри, а конец вне рамки, то (+—); если начало и конец вне рамки, то (——);

8) общность метеора между наблюдателями (устанавливается путем введения общего номера);

9) зенитное расстояние середины метеора (только если наблюдается не околозенитная область) z;

10) в примечаниях отмечается наличие следа вспышек и т. п.

При счете важен интервал чистого времени наблюдений, поэтому надо тщательно регистрировать момент начала и конца наблюдений и время перерывов для отдыха. Общее чистое время за ночь должно быть не менее двух-трех часов, иначе статистические формулы станут неприменимы. Во время одной ночи наблюдений изменения в составе группы недопустимы. Нежелательны они и вообще за период наблюдений.

Звездная величина метеора определяется по сравнению с находящимися в области звездами, блеск которых надо знать. Угловая скорость отмечается в условной шкале (см. предыдущий раздел). Принадлежность определяется по направлению полета, соотношению угловой длины и элонгации от радианта и комплексу физических свойств метеора. Наблюдателю надо знать, какие потоки действуют в данную ночь. Обычно стараются установить принадлежность к одному из следующих богатых ежегодных потоков: Квадрантиды, Лириды, η-Аквариды, δ-Аквариды, Персеиды, Ориониды, Тауиды, Леониды, Геминиды, Урсиды.

Положение метеора относительно рамки необходимо для того, чтобы определить среднее отношение высот появления и исчезновения метеоров. Характеристики 2, 10, 7, 5, 9, 4 не являются основными, и в случае обильных дождей их в крайнем случае можно отбрасывать в указанном порядке.

При наблюдениях метеоров состояние неба характеризуют предельной величиной звезд m_m, которые видны в наблюдаемой области. При сильной освещенности неба вблизи больших городов в полнолуние и близкие к нему дни счет вести нельзя. Иногда приходится проводить счет метеоров при легких проходящих облаках. При этом степень закрытия области облаками определяют в процентах. Подобные наблюдения имеют небольшую ценность.

Журнал многократного счета метеоров

1. Место наблюдения: г. Симферополь.
2. Дата: 12/13 декабря 1981 г. (московского летнего времени).
3. Время наблюдений: начало 0^h31^m, конец 3^h05^m.
4. Перерывы в наблюдениях: 1^h20^m—1^h30^m, 2^h30^m—2^h45^m.
5. Предельная звездная величина звезд: $5^m,4$.

6. Наблюдатели: В. Мартыненко (ВМ), А. Клюкина (АК), И. Зоткин (ИЗ), Р. Михайлов (РМ), С. Макарова (СМ), Б. Гольберг (БГ), Л. Пушной — секретарь.

№	Момент	Направление	+ —	ω	z	Поток	Наблюдатели						Примечания
							ВМ	АК	ИЗ	РМ	СМ	БГ	
1	0^h33^m	11	++	2	0°	Гем.	3	2,5	3		3,5		
2	35^m	3	—+	4	20	Спор.			4		5	4	Вспышка

В журнале время от времени записывается состояние наблюдателей, так как холод, утомление и т. п. факторы оказывают влияние на наблюдения.

Основной задачей обработки многократного счета является определение истинного числа метеоров каждой звездной величины на определенной площади за определенное время. Отсюда можно установить поток метеорного вещества на Землю и распределение метеорных тел по массам.

Если $n_1, n_2, \ldots, n_k$ — числа метеоров, замеченных каждым наблюдателем, а S — число физически различных метеоров, замеченных группой, то истинное число метеоров N находится из следующего уравнения:

$$(N - S)\, N^{k-1} = (N - n_1)(N - n_2) \ldots (N - n_k).$$

Это уравнение решается подбором с помощью карманного калькулятора, причем для каждой звездной величины в отдельности.

Программа-максимум. И. С. Астапович разработал подробную систему регистрации физических, кинематических и геометрических характеристик метеора, получившую название «программы-максимум». Такие наблюдения служат для определения статистическим путем *высот*, *скоростей*, *радиантов*, *масс и закономерностей движения* и *свечения метеорных тел*. Программа-максимум требует очень высокой квалификации наблюдателя. Только имея практический опыт наблюдения нескольких тысяч метеоров и исследовав многочисленные личные ошибки, наблюдатель сможет получить надежные результаты.

Рассмотрим характеристики метеора, которые входят в программу-максимум.

1. *Момент пролета T*. Момент должен быть зарегистрирован с точностью, которая соответствовала бы точности определения положения метеора, т. е. с точностью до 1 минуты. Время определяется по часам с известными поправкой и ходом. Запись момента (так же как и других характеристик) производят «слепым» методом, не отрывая глаз от неба.

2. *Положение и направление полета.* Для определения координат начала и конца метеора наблюдатель должен очень хорошо

знать звездное небо. Практически надо знать все звезды ярче 4-й величины и часть звезд 5-й величины, т. е. ~ 500 звезд. Запись положения и направления метеора удобно вести так: если метеор появится около α Лиры и исчез у α Лебедя, то пишется: α Lyr → α Cyg; если метеор пролетел параллельно направлению о — δ Лебедя, но появился на 2° севернее α Лиры и на 3° не долетел до α Лебедя, то запись будет выглядеть так:

$$\alpha \overset{2^\circ}{\text{Lyr}} \rightarrow 3^\circ \alpha\, \text{Cyg} \parallel o\delta\, \text{Cyg}.$$

При обработке наблюдений со звездной карты снимают координаты начала и конца ($\alpha_н$, $\delta_н$); ($\alpha_к$, $\delta_к$). Наблюдателю необходимо исследовать также ошибки сноса и поворота.

3. *Угловая длина* λ *пути метеора* определяется независимо от положения начала и конца по сравнению с угловыми расстояниями между звездами. Следует только помнить, что эталонные звезды должны лежать на той же высоте, что и метеор, так как у горизонта созвездия кажутся больше.

4. *Угловая скорость* ω определяется баллами в следующей шкале:

Стационарный	0	Довольно быстрый	5
Очень медленный	1	Быстрый	6
Медленный	2	Очень быстрый	7
Довольно медленный	3	Чрезвычайно быстрый	8
Средний	4		

Для начала можно пользоваться не всеми баллами, а через один и с приобретением опыта переходить к промежуточным. В редких случаях приходится отмечать угловые торможения (5 → 4). Лабораторные измерения показали, что баллы связаны с угловой скоростью в град/с степенно́й зависимостью.

5. *Продолжительность полета* τ оценивается в секундах. Наблюдатель должен некоторое время потренироваться в отсчете малых промежутков времени с секундомером. Постепенно у него вырабатывается определенная шкала времени. Время, определяемое наблюдателем, связано с истинным временем линейной зависимостью.

6. *Звездная величина метеора* m находится по сравнению со звездами, находящимися на близкой высоте. Для работы надо знать величины примерно 100 звезд, равномерно распределенных по небу. Достаточная точность оценок достигается опытом и у опытных наблюдателей доходит до $\pm 0^m,25$. Начинающий наблюдатель может записывать звездные величины метеоров с точностью до 1^m. Отмечается максимум яркости метеора, а яркость вспышек отмечается отдельно.

7. *Цвет метеора* c оценивается по глазомерной шкале Остгофа. Цвета можно определять только у ярких метеоров не слабее 3^m. Иногда цвет метеора меняется, — этот факт также отмечается.

Бело-голубой	—2	Чисто-желтый	4
Голубовато-белый	—1	Темно-желтый	5
Белый	0	Красновато-желтый	6
Желтовато-белый	1	Оранжевый	7
Беловато-желтый	2	Желтовато-красный	8
Желтый, чуть беловатый	3	Красный	9

Редкие цвета метеоров: зеленые, фиолетовые.

8. *Очерченность метеора о.* Это понятие характеризует в условных баллах внешний вид метеора согласно следующей шкале:

Очень резко очерченный метеор	5
Резко очерченный метеор	4
Метеор средней очерченности	3
Метеор со слегка размытыми краями	2
Метеор с явно размытыми краями	1

9. *Положение максимума блеска М* на траектории метеора, если он имел место, определяется следующим образом: весь метеор мысленно делят на пять частей, если максимум был в начале, то пишут 1/5, если посередине, то 3/5, если в конце, то 5/5 и т. д. Случается, что метеор не имеет резко выраженного максимума яркости или имеет их несколько.

10. *Плотность метеора n* оценивается по пятибалльной шкале: 1 балл обозначает рыхлый тусклый метеор, 5 баллов — плотный, блестящий звездоподобный метеор.

11. *Угловой поперечник d.* Многие метеоры имеют заметно выраженную протяженность. Это явление связано как с реальными размерами газовой оболочки метеора, так и с иррадиацией. При наблюдениях отмечается кажущийся поперечник *d* в угловых минутах.

12. *Продолжительность видимости следа* τ_c. Если после полета метеора остался след, то по часам или секундомеру отмечают время его видимости невооруженным глазом, с точностью до 1 с.

13. *Плотность следа* n_c представляет собой качественную оценку плотности светящегося вещества следа и оценивается в баллах. Яркий плотный след обозначается баллом 5; редкий полупрозрачный, размытый след — баллом 1, остальные баллы — промежуточные.

Опытные наблюдатели отмечают также положение метеора в поле зрения глаз по «правилу циферблата». От положения метеора в поле зрения зависят некоторые тонкие эффекты видимости метеора. Запись ведется, например, так: X — 35°. Это означает, что метеор замечен в левом верхнем углу поля зрения («10 часов») на расстоянии 35° от центра. Запись ведется вслепую и имеет примерно такой вид (данные записаны в том порядке, в котором излагались выше):

$$№\ 36;\quad 23^h03^m;\quad 4°\beta\,\mathrm{Cas}\rightarrow\delta\,\mathrm{Cep}\ 1°;\quad \lambda 18°;\quad \omega 4;\quad \tau 0{,}9;$$
$$m0{,}5;\ c3;\ o5;\ 4/5;\ n5;\ d2';\ \tau_c 10;\ n_c 4;\ \mathrm{IX}-35°.$$

В ближайшее же время после наблюдений записи надо расшифровать, метеоры нанести на карту и составить таблицу наблюдений метеоров, где, помимо общих данных, должны быть указаны поправки часов, время начала и конца наблюдений, эпоха, к которой относятся координаты.

Журнал наблюдений по программе-максимум
(общие сведения о наблюдениях)

№	T	Начало		Конец		λ	ω	τ	m	c	o	M	n	d	τ_c	n_c	Примечания
		α	δ	α	δ												

Эта таблица вместе с картой составляет наблюдательный материал и подлежит обработке.

Наблюдения телескопических метеоров. Метеоры слабее 6-й звездной величины, которые можно наблюдать только с помощью оптических средств, получили название *телескопических* (*телеметеоров*). Необходимо предупредить начинающих наблюдателей, что наблюдения их больше, чем какие-либо другие, требуют терпения и настойчивости.

Инструмент для наблюдений телеметеоров должен иметь достаточно большое поле зрения и большую светосилу. Если D — диаметр объектива, то наиболее рациональное увеличение равно $W = \frac{D \text{ мм}}{6{,}5}$. Хорошими инструментами для наблюдения телеметеоров являются бинокулярные трубы Цейса ($D = 80$ мм), кометоискатели и трубы АТ-1, а также полевые бинокли с увеличением в шесть и более раз.

Звездные карты для наблюдений выбираются в зависимости от инструмента так, чтобы масштаб их был в соответствии с реальным масштабом звездного неба, наблюдаемого в инструмент, или немногим больше. Большой «Звездный атлас» А. А. Михайлова, изд. 1969 г. (масштаб $1° = 6$ мм), является удобным при наблюдении с биноклями 6×30 мм. Для бинокуляра Цейса применимы звездные карты «Атласа неба» Бечваржа.

Основные проблемы, стоящие перед наблюдателями телеметеоров, такие:

1) *уточнение радиантов некоторых больших метеорных потоков по присутствующим в них телеметеорам*;

2) *определение самостоятельных телеметеорных радиантов, не связанных с большими потоками, и распределение их по небу*;

3) *определение высот телеметеоров*;

4) *определение численности телеметеоров и ее изменения в течение суток, года и на различных участках небесной сферы.*

В первом случае выбирается область в 3—5° от действующего радианта и наблюдатель держит эту область в поле зрения в течение всего периода наблюдений. Опыт показал, что наблюдать нужно не менее трех-четырех часов в одну ночь. Время действия радианта определяется как середина интервала наблюдений первого и последнего метеоров в сотых долях суток по мировому времени, с указанием эпохи, к которой отнесены координаты радианта. Во втором случае выбирается какая-либо область неба не ниже $z = 60 - 70°$. Область зенита является в этом смысле самой удобной. Наблюдатель располагается в лежачем положении с укрепленным на штативе биноклем или бинокуляром.

Следует особо обратить внимание на слабую изученность радиантов южного неба.

Программа исследования численности телеметеоров должна состоять из двух взаимосвязанных разделов: а) *наблюдения телеметеоров в зенитной области*, по три часа в ночь, симметрично относительно местной полуночи с неподвижным инструментом и б) *наблюдения в северной полярной области*, имеющие целью выяснить зависимость численности телеметеоров от широты места наблюдения. При счете телеметеоров строго фиксируются перерывы и чистое время наблюдений. В журнале отмечается момент полета (до 1 минуты), блеск (до $0^m,2—0^m,5$), цвет, позиционный угол P, положение относительно поля зрения и другие характеристики — по мере возможности.

В результате наблюдений получают видимые часовые числа телеметеоров для каждой звездной величины. Их необходимо исправить за коэффициент замечаемости и эффект бокового зрения. Если имеется группа наблюдателей в 3—4 человека, то можно организовать многократный счет телеметеоров. Методика и возможности в принципе те же, что и для обычных метеоров.

Попутно с вопросами численности решаются и другие задачи, например изменение часовых чисел телеметеоров в течение суток, года, т. е. суточная и годичная вариации. Наблюдения в зенитной области (где азимуты направлений полета получаются в чистом виде) дают возможность установить преобладающее направление движения телеметеоров, что очень важно.

Наблюдения высот должны вестись с концов базиса однотипными инструментами, оптические оси которых наклоняются навстречу друг другу на величину параллактического смещения, чтобы в поле зрения попали общие метеоры. Обозреваемая область пространства, его размеры и высота сильно зависят от размеров базиса (рис. 151). Необходимы определения высот телеметеоров на базисе $b = 1000—3000$ м в зенитной области. Коротких базисов применять не надо, так как искомый параллакс делается сравнимым с величиной ошибки нанесения метеора на карту, например, при 12-кратном увеличении она равна $\pm 5'$.

Для исследования личных ошибок необходимы параллельные наблюдения несколькими наблюдателями одной и той же области неба с однотипными инструментами.

Журнал наблюдений телеметеоров
(общие сведения)

1. Дата: 1957 г. 17—18 VII.
2. Время: начало 21^h30^m, конец 0^h30^m (декретное время).
3. Перерывы: 23^h15^m—23^h30^m.
4. Предельная видимость звезд: 11^m.

№	T	m	τ	c	o	ω	λ	P	M	$\pm$	$\alpha_н$	$\delta_н$	$\alpha_к$	$\delta_к$	n_c	τ_c	λ_c	Примечания

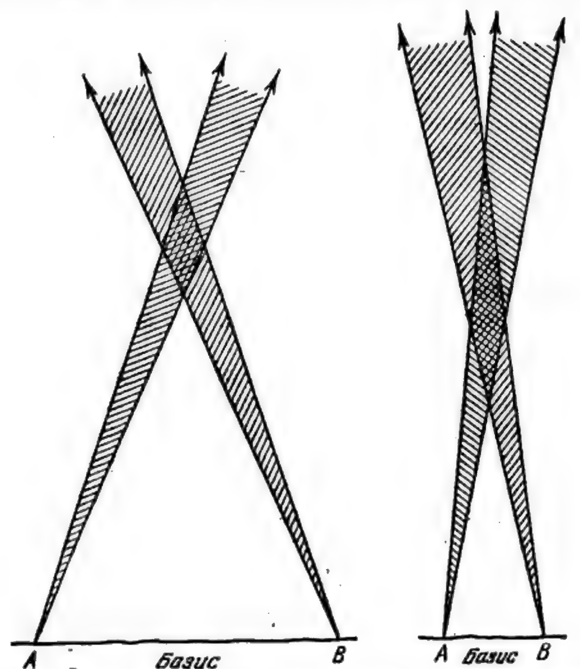


Рис. 151. Область перекрытия при различных базисах и углах скрещивания.

Характеристики c, ω, o, n_c оцениваются в баллах шкал, приведенных выше. Момент полета фиксируется в случае базисных наблюдений до 0,5 мин; для задач, не связанных с положением метеора, достаточна точность в 1 минуту; блеск желательно опре-

делять с точностью $0^m,5$. Особое внимание нужно уделить оценкам продолжительности полета τ, так как телеметеоры имеют $\tau \approx 0,2$—$0,3$ с. Ошибка даже в 0,1 с сильно искажает скорость.

Длина λ определяется в десятых долях диаметра поля зрения, а затем переводится в градусы. Позиционный угол P отсчитывается от точки севера по часовой стрелке по «правилу циферблата», при обработке угол переводится в градусы. При этом надо учитывать, прямое, обратное или зеркальное изображение дает труба. В графу «Примечания» вносятся все особенности данного метеора (его форма, след, изменения блеска, скорости, обстоятельства появления и исчезновения и т. д.).

Во время наблюдений запись ведется в темноте на листе бумаги, свернутом в узкую полоску. При этом наблюдатель не отводит глаз от инструмента (за исключением времени занесения телеметеора на карту). Можно также диктовать все данные секретарю.

На следующий день проводится первичная обработка наблюдений, заключающаяся в оформлении каталога телеметеоров. Телеметеоры заносятся на звездную карту, снимаются координаты начала ($\alpha_н$, $\delta_н$) и конца пути ($\alpha_к$, $\delta_к$). Если выявлен радиант, то следует его определить сразу же в день наблюдений. Моменты времени в журнале наблюдений записываются уже с учетом поправок часов.

В случае базисных наблюдений высоты вычисляются по формуле

$$H = b \operatorname{cosec} \pi \cos z_1 \sin \gamma_2 = b \operatorname{cosec} \pi \cos z_2 \sin \gamma_1,$$

где b — длина базиса; π — параллакс метеора; z_1 и z_2 — зенитное расстояние метеора в пунктах A и B; γ_1 и γ_2 — углы между направлением базиса и направлениями на метеор соответственно в первом и во втором случаях. Второе равенство в формуле служит для контроля.

Наблюдения дрейфа метеорных следов. При полете ярких метеоров в атмосфере иногда остается светящийся след, состоящий из ионизованных газов. Смещение — *дрейф следа* — происходит под действием ветров в стратосфере и позволяет изучить их направление и скорость.

Метеорные следы можно наблюдать в любые светосильные трубы, имеющие большое (несколько градусов) поле зрения и небольшое (около 10 раз) увеличение: 8-кратный полевой бинокль, бинокуляр «Асемби», трубы АТ-1 и т. п. Предназначенная для наблюдений следов труба должна быть установлена на прочном, удобном азимутальном штативе.

Техника наблюдений состоит в следующем. В момент пролета метеоров наблюдатель замечает время и ищет след, начиная с наиболее яркой, обычно конечной точки. Это надо осуществить за 5—8 с. Как только след найден, наблюдатель осматривает его, замечает какой-нибудь «узелок», ставит его в центр поля зрения и начинает следить за перемещением и изменением формы следа.

Одновременно наблюдатель или его помощник должен заметить точку неба, на которую наведен инструмент. Это можно сделать двумя способами: сразу отметив азимут и зенитное расстояние (для этого инструмент должен быть снабжен кругами и отнивелирован) или запомнив звезды, видимые в поле зрения трубы.

Опытные наблюдатели, хорошо ориентирующиеся в звездном небе, регистрируют дрейф следа, зарисовывая его через 20—25 с на звездной карте («Звездного атласа» А. А. Михайлова или «Атласа неба» Бечваржа). Однако операции со звездной картой в момент наблюдения требуют света, что отрицательно сказывается на зрении.

Рис. 152. Дрейф следа метеора относительно поля зрения трубы.

Рациональнее отмечать положение следа относительно центра поля зрения инструмента (рис. 152). Расстояние следа от центра D выражается в десятых долях поля зрения, а положение определяется позиционным углом P, который отсчитывается от вертикала центра поля зрения от 0 до 360° по часовой стрелке.

Наблюдения дрейфа следов метеоров
(общие сведения)

Момент	m	Поток	Положения центра поля зрения		P	D	Ширина следа	m_s	Примечания
$1^h28^m00^s$ 10 25	—2	Персеиды	2^h33^m	+54°	250° 250 250	0,0 0,2 0,4	20′ 25 30	5 5 4	«Веретено»

К записям прикладываются зарисовки следа, если они сделаны; в примечаниях указывается типичная форма следа: «полоска», «веретено», «сгусток», «кольцо». Особо отмечаются турбулентные явления, резкие изгибы и изменения направления движения. Время каждой отметки положения следа регистрируется по секундомеру, который был пущен в момент пролета метеора, с точностью до 1 с. Наблюдения продолжаются до момента исчезновения следа. Иногда трубу приходится подвинуть за следом, строго отметив, на какую величину и в каком направлении она сдвинута.

Методика вычисления параметров дрейфа излагается во многих руководствах.

Особую ценность имеют наблюдения следов одновременно с базисным фотографированием. Фотографический метод с высокой точностью дает положение и высоты точек траектории метеора, к которой затем можно будет привязать наблюдения следов.

Фотографирование метеоров. Метеор — очень быстро движущийся объект. Каждая его точка экспонируется фактически в тысячные доли секунды. Для фотографирования метеоров следует

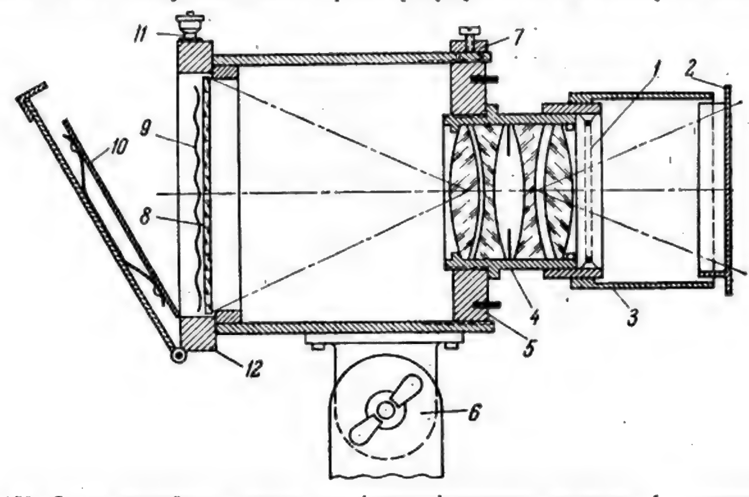


Рис. 153. Схема устройства камеры для фотографирования метеоров. *1* — провода подогрева, *2* — крышка, *3* — противоросник, *4* — объектив, *5* — резьба фокусировки, *6* — винт крепления, *7* — стопор, *8* — прижимное стекло, *9* — фотопленка, *10* — прижимная пластинка, *11* — защелка крышки кассеты, *12* — корпус кассеты.

применять самые светосильные камеры (с относительным отверстием D/F более 1 : 3), самые высокочувствительные фотопленки (более 250 ГОСТ) и наиболее энергичные проявители. Применять объективы от малоформатных фотокамер с фокусным расстоянием около 50 мм типа «Юпитер-8» нежелательно. Наиболее целесообразны фокусные расстояния около 10—15 см. Для того чтобы сравнить достоинства объективов, можно пользоваться индексом эффективности фотокамеры для метеоров $\frac{D^2}{F}$, где D — диаметр отверстия, а F — фокусное расстояние объектива. При прочих равных условиях лучше тот объектив, у которого индекс больше. Кроме того, объектив должен быть достаточно широкоугольным, с полем не менее чем 30 × 30 градусов.

Камера должна иметь прочные винты крепления, чтобы исключить возможность перемещения во время экспозиции. Фотокамера обязательно снабжается противоросником, который предохраняет от рассеянного света и от росы (рис. 153). При сильной влажности воздуха объективы запотевают. Чтобы этого не было, объектив

подогревают. Система подогрева осуществляется в виде нескольких тонких параллельных проволочек, натянутых перед линзами объектива, по которым пускается низковольтный ток. Особое внимание следует уделить фокусировке камер: от этого зависит предельная величина метеора. Обработка негативных пленок (проявление, фиксирование и т. д.) производится обычным порядком.

Практика показывает, что с хорошими фотоматериалами один метеор можно заснять примерно за 5 часов экспозиции. Чтобы увеличить количество сфотографированных метеоров, фотографирование ведут одновременно на нескольких камерах, объединенных в так называемый *метеорный патруль*, устройство которого ясно из рис. 154. В патруле может быть до шести камер. При большем количестве (если камеры не автоматизированы) обслуживание их становится обременительным. Такой же патруль устанавливается и на базисном пункте. Патруль из четырех — шести камер могут обслуживать два наблюдателя.

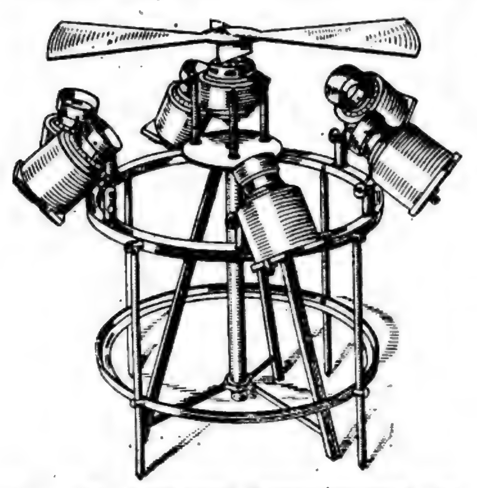


Рис. 154. Устройство фотографического метеорного патруля.

Чтобы определить скорость метеора, фотографирование производится через *обтюратор*, т. е. вращающийся перед объективом сектор. Метеор при этом получается с перерывами (рис. 155). Скорость вращения и количество лопастей должны быть такими, чтобы обтюратор давал 50—75 перерывов в секунду. Важнейшей задачей при работе обтюратора является надежный контроль числа оборотов и постоянства скорости вращения. Постоянство скорости достигается поддерживанием постоянства напряжения, например, стабилизатором напряжения. Измерение числа оборотов можно осуществить разными способами. На вал обтюратора надевается ротор маленького генератора; в обмотке генератора возникает переменный ток, частота которого измеряется промышленным измерителем частоты. Для контроля оборотов применяется также принцип стробоскопического освещения. Подобного типа стробоскоп легко изготовить и самостоятельно. Наиболее простым и надежным прибором является счетчик оборотов, присоединенный к валу обтюратора через 50—60-кратный редуктор. Со счетчика время от времени снимаются показания. Частота перерывов должна быть известна с точностью до 0,5%.

Для определения высоты метеоров необходимо фотографировать их из двух пунктов, A и B. Точность определения высоты зависит от величины базиса: чем больше базис, тем больше параллактический угол π. Этот угол входит в формулу определения высоты точек метеора. Базис должен быть не менее 16 км; лучше иметь базис, равный 20—25 км, при этом π равняется нескольким

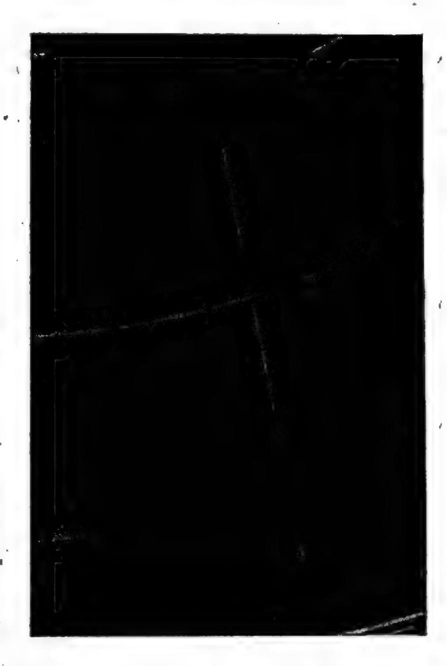



Рис. 155. Базисная фотография метеора. (Симферопольская метеорная станция.)

градусам. Важную роль играет направление базиса; выгоднее всего, когда метеоры летят перпендикулярно к базису. Один базис в этом смысле не может быть пригодным для наблюдения всех метеорных потоков, и возникает необходимость иметь несколько базисов.

Для того чтобы базисные снимки метеоров можно было обработать, необходимо знать о базисе следующее:

1) географические координаты: широту φ и долготу λ для обоих пунктов A и B с точностью до 2—3″;

2) высоты над уровнем моря H_A, H_B пунктов A и B;

3) азимут a_b и зенитное расстояние z_b направления AB и направления BA с точностью до 1′;

4) длину базиса с точностью до 0,1%.

Метеорный патруль может иметь переносную монтировку. Однако при систематических наблюдениях возникает необходимость в специальном павильоне. На рис. 156 показана схема

простейшего павильона с откатывающейся крышей и небольшим подсобным помещением. Обтюратор и фотокамеры устанавливаются на разных фундаментах, чтобы избежать передачи вибрации. Камеры с обтюратором несколько приподнимаются над уровнем почвы, что предохраняет их от росы.

Организация фотографических наблюдений складывается из следующих мероприятий.

Согласовываются направления камер, установленных на пунктах A и B, чтобы поля корреспондирующих камер покрывали одну и ту же площадь на высоте 100 км, иначе парных фотографий не получится. Заметим, что камеры лучше направлять не в зенит,

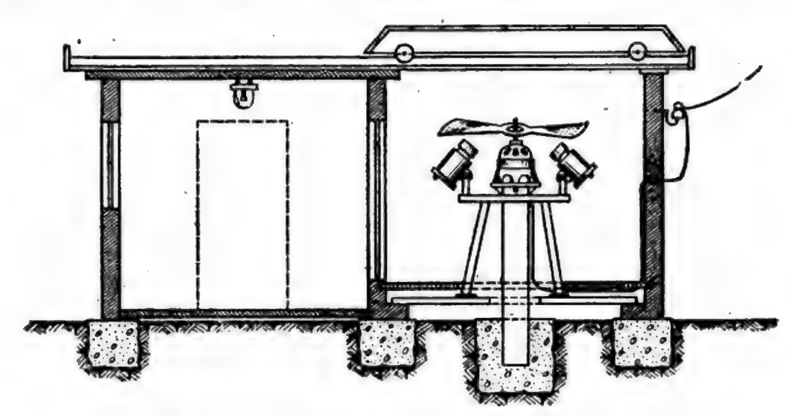


Рис. 156. Схема устройства павильона для метеорного патруля

а наклонно, тогда площадь фотографируемого метеорного слоя будет больше. Согласовываются моменты начал и концов и продолжительность экспозиций, производящихся на пунктах A и B. Обычно одна пленка экспонируется 1—2 часа, в зависимости от яркости ночного неба. Более длительная выдержка вызывает вуаль. За ночь можно сделать 3—4 экспозиции.

Во время экспозиции через каждые 20—30 минут камеры перекрываются на 20—30 с, а моменты начала и конца каждого перерыва тщательно регистрируются по часам с точностью до 1 с. При этом на фотографии на дугах звезд также получаются перерывы (см. рис. 155) Они служат опорными точками при измерении негативов. Перекрывать надо сразу все камеры. Это делается листом фанеры или специальными затворами.

Важнейшим при фотографировании метеоров является определение момента пролета метеора. Если момент пролета неизвестен, то из фотографии нельзя будет получать положение метеора в экваториальной системе координат (α, δ), найти радиант и вычислить орбиту (однако высоты в этом случае определять можно). Момент T регистрируется наблюдателем, который неотрывно контролирует во время экспозиции фотографируемую область,

отмечая момент и приблизительное положение всех ярких ($m <$ < 2) метеоров и их звездную величину. Если камер много, контролируют несколько человек.

На обтюраторном пункте в начале и конце экспозиции проверяется тем или иным способом скорость вращения обтюратора и результаты записываются.

Негативы, которых при работе патруля получается много, должны иметь четкую маркировку, во избежание путаницы при обработке. Мы рекомендуем на фотопленке с краю перед ее закладкой в камеру делать простым мягким карандашом следующие записи: 1) пункт *A* или *B*, 2) дата ночи наблюдения через дробь, 3) номер экспозиции за ночь, 4) номер камеры. Примерно так:

A 16/17 III 4.

После проявления и сушки на негативе тушью делается более подробная запись со ссылкой на журнал наблюдений. Журнал фотографирования, помимо общих сведений о наблюдениях, должен содержать следующие сведения:

Журнал фотографирования метеоров, пункт *A*

	Перерывы:
Дата 10 августа 1969 г.	1) от $3^h00^m00^s$ до $3^h00^m30^s$
Экспозиция № 4	2) от 3 29 00 до 3 29 30
Начало $2^h30^m00^s$	3) от 4 01 30 до 4 02 00
Конец $4^h31^m30^s$ (поправка часов 45^s)	4) от до

Скорость обтюратора: 2^h30^m — 945 об/мин; 3^h00^m — 950 об/мин.

Пролетевшие в области яркие метеоры:

Момент	Зв. величина	Созвездие	Камера №	Примечания
$3^h24^m17^s$	$-2^m,5$	Б. Медведица	3	Вспышка в конце

Одним из видов фотографических наблюдений метеоров является получение их спектров. Спектр метеора получают с помощью объективной призмы, укрепленной перед объективом камеры. Одновременно с ним получаются спектры звезд, которые затем используются как спектры сравнения. Для спектрографирования метеоров применяются призмы с преломляющими углами от 10 до 45°, так как с большой дисперсией спектры метеоров все равно получить нельзя из-за малой яркости и длительности.

Существенным при спектрографировании является ориентировка призмы. Наилучший спектр получится тогда, когда метеор пролетит параллельно преломляющему ребру призмы, тогда направление дисперсии будет перпендикулярно к линии полета метеора. Следовательно, ребро призмы надо располагать парал-

лельно направлению на радиант. Однако при этом надо позаботиться также и о том, чтобы дисперсия была хотя бы приблизительно перпендикулярна к суточным параллелям звезд, чтобы и спектры звезд получились достаточно хорошими (подробнее см. § 20, гл. IV).

Некоторые термины и понятия метеорной астрономии. Метеоры движутся в атмосфере по практически прямолинейным траекториям. Вследствие сопротивления воздуха скорость метеора v уменьшается от *заатмосферной* v_∞ до некоторой конечной. Отрицательное ускорение j называется *торможением*. Направление, обратное вектору скорости, или точка пересечения обратного продолжения траектории с небесной сферой, называется *радиантом*. Из наблюдений получают горизонтальные или экваториальные (A_R, z_R), (α_R, δ_R) координаты видимого радианта R'. На его положение оказывает влияние вращение Земли, в результате чего видимый радиант оказывается смещенным к востоку (суточная аберрация) на угол

$$\theta^\circ = \frac{26^\circ{,}62}{v_\infty \text{ км/с}} \cos\varphi \sin\gamma,$$

где γ — угол между радиантом и точкой запада, φ — широта.

Притяжение Земли увеличивает скорость *метеорного тела* и несколько искривляет его орбиту. Неискаженная притяжением скорость встречи с Землей называется *геоцентрической скоростью* v_g. Она меньше, чем v_∞:

$$v_g^2 = v_\infty^2 - (11{,}10 \text{ км/с})^2.$$

Искривление выражается в том, что видимый радиант смещается к зениту на угол Δz, называемый *зенитным притяжением*:

$$\operatorname{tg}\frac{\Delta z}{2} = \frac{v_\infty - v_g}{v_\infty + v_g}\operatorname{tg}\frac{z}{2}.$$

Видимый радиант, исправленный за суточную аберрацию и зенитное притяжение, носит название *исправленного*, или *истинного* (геоцентрического) *радианта* R.

Гелиоцентрическая скорость метеора v_h представляет собой векторную сумму *орбитальной скорости* Земли v_l и геоцентрической скорости метеора:

$$v_h = v_l + v_g.$$

Если r — радиус-вектор Земли (выраженный в астрономических единицах), то $v_l = 29{,}80 r^{-1}$ км/с. Точка A, куда направлена скорость Земли, называется *апексом*. Она лежит на эклиптике и имеет долготу, примерно на 90° меньшую, чем Солнце. Если угол между v_l и v_h меньше 90°, то метеор — *догоняемый* или *догоняющий*, если больше, то *встречный*.

Точки траектории метеора, в которых он появился и исчез, называются точками *появления* и *исчезновения*. Они характеризуются высотами появления и исчезновения H_1 и H_2. Отношения H_1/H_2 называются *относительными высотами* появления и исчезновения. Угловое расстояние на небесной сфере между этими точками является *угловой длиной* метеора λ. Угловое удаление некоторой точки метеора от радианта называется *элонгацией от радианта* ψ. При прочих равных условиях метеоры с большей элонгацией бывают более длинными и обладают большей *угловой скоростью* ω. Метеор, летящий прямо на наблюдателя, называется *стационарным*.

Блеск метеора m оценивается в звездных величинах. Из теории метеорных явлений следует, что при наблюдениях за блеск надо принимать *максимальную яркость* метеора. Абсолютной звездной величиной метеора называется такой блеск, какой он имел бы на расстоянии 100 км без поглощения света в атмосфере:

$$m = m' - 5\lg r + 10 - k\sec z_t$$

где m' — видимая, m — абсолютная величины, r — расстояние (*наклонная дальность*), z — зенитное расстояние метеора, $k \cong 0,2$ — величина, зависящая от прозрачности атмосферы. Если блеск метеора определяется по близлежащим звездам, то поправку $k \sec z$ вводить не надо. Восприятие света метеора зависит от его скорости. Например, нельзя непосредственно приравнивать яркости изображений метеора и звезд на фотопластинке. Считается, что ослабление изображения движущегося объекта (выраженное в звездных величинах) пропорционально логарифму отношения угловых скоростей звезды ω_* и метеора ω, т. е.

$$m - m_* = -K \lg \frac{\omega}{\omega_*},$$

где m_* и m — величины звезды и метеора, а K — некоторая константа. Теория дает следующую приближенную зависимость между силой света метеора I, массой M и скоростью метеорного тела v:

$$I = cMv^3 \cos z_R.$$

Она используется для оценок масс метеорных тел.

Рой метеорных частиц, движущихся в Солнечной системе примерно по одинаковым орбитам, образует *метеорный поток*. Вследствие перспективы движущиеся по параллельным траекториям поточные метеоры кажутся вылетающими из одной точки — *радианта потока*; фактически наблюдается некоторая площадь радиации. Вследствие перемещения апекса радиант потока несколько перемещается по небу. Одиночные или входящие в очень бедные потоки метеорные частицы вызывают *спорадические метеоры* и образуют так называемый *метеорный фон*. Если n — число поточных, а n' — число спорадических метеоров, то отношение

$$i = \frac{n}{n + n'} 100\%$$

называется *относительной активностью* данного потока.

Пусть на некоторой площади метеорного слоя S (например, 10 000 км²) за интервал *чистого времени* ΔT замечено N метеоров, причем N исправлено за коэффициент внимания и другие факторы. Тогда

$$N_h = \frac{N}{\Delta T_{\text{часов}}}$$

называется *часовым числом* метеоров. Для потоков с известной v_g можно подсчитать *пространственную плотность* ρ, т. е. число частиц в единице объема:

$$\rho = \frac{N}{\Delta T v_\infty S \cos z_R} \left[\frac{\text{частиц} \cdot \text{с}}{\text{с} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{км}}\right].$$

Закон распределения метеоров по блеску, показывающий количество метеоров данной величины $N(m)$, называется *функцией светимости*. Она имеет приблизительно показательный характер:

$$N(m) = N(0)\, \varkappa^m.$$

В среднем величина $\varkappa = 2,5$. Ее можно определять из наблюдений по формуле

$$\varkappa = \frac{N(m+1)}{N(m)},$$

если через $N(m)$ обозначить число метеоров от $m - 1/2$ до $m + 1/2$ звездной величины.

Литература

1. Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли. — М.: Физматгиз, 1958.

2. Зоткин И. Т. Инструкция для наблюдений метеоров. — М.: Наука, 1972.

3. Катасев Л. А. Исследование метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом. — М.: Гидрометеоиздат, 1966.

4. Ловелл Б. Метеорная астрономия. — М.: Физматгиз, 1958.

5. Мак-Кинли Д. Методы метеорной астрономии. — М.: Мир, 1964.

6. Мартыненко В. В. Задачи и методы любительских наблюдений метеоров. — М.: Наука, 1967.

7. Федынский В. В. Метеоры. — М.: Гостехиздат, 1956.

8. Цесевич В. П. Что и как наблюдать на небе. — М.: Наука, 1979.

§ 7. Инструкция для наблюдений падений, поисков и сбора метеоритов

Организация в СССР сбора и изучения метеоритов. Внезапные и притом в неожиданных местах падения метеоритов не позволяют специалистам-метеоритологам организовать и производить систематические наблюдения их падений. Поэтому им приходится прибегать к помощи случайных очевидцев. Однако подробные и добросовестно составленные описания наблюдавшихся явлений, сделанные даже случайными очевидцами, могут иметь научное значение. Если по одному и тому же падению метеорита удастся собрать большое число описаний, сделанных очевидцами в разных населенных пунктах, то после обработки оказывается возможным получить достаточно надежные данные об условиях падения метеорита. Долгом каждого сознательного человека является сообщить ученым подробные сведения о наблюдавшихся им явлениях при падении метеорита, если он явился случайным очевидцем этих явлений.

Метеориты представляют огромную ценность для науки. Они тщательно изучаются и затем хранятся в специальных минералогических музеях нашей страны.

Центральным научным учреждением, специально занимающимся организацией сбора, изучения и хранения метеоритов, в Советском Союзе является Комитет по метеоритам Академии наук СССР. В случае падения и находки метеорита наблюдатели телеграфно извещают об этом Комитет, который направляет в район падения своих научных сотрудников. Здесь они производят всестороннее обследование места и обстановки падения, опрашивают очевидцев падения и организуют поиски и сбор метеоритов.

Каждый вновь упавший или случайно найденный метеорит подлежит передаче Комитету по метеоритам Академии наук СССР. За передаваемые в Комитет метеориты лицам, обнаружившим их, выдаются денежные премии как мера поощрения за оказание содействия науке.

Наблюдения болидов. Обычно кажется, что огненный шар (болид) пролетел совсем недалеко от наблюдателя, и поэтому

каждый думает, что метеорит упал где-то совсем близко от него, в каких-нибудь сотнях метров. Однако такое впечатление является ложным. Вследствие большой яркости болиды часто бывают видны не только ночью, но и днем, при безоблачном небе и ярком солнечном освещении, на расстоянии сотен километров от места падения метеорита. Точно так же на расстоянии нескольких сотен километров наблюдается освещение местности от болида ночью, а также бывают слышны звуки: удары, грохот и т. д. Поэтому часто предпринимаемые очевидцами поиски упавшего метеорита в окрестностях места наблюдения бывают безрезультатными, а попадающиеся различные камни или куски железа, которые они принимают за метеориты, в действительности оказываются обыкновенными камнями, шлаками и тому подобными земными образованиями.

Наиболее часто очевидцы впадают в ошибку в тех случаях, когда болид, по их наблюдениям, исчезает у самого горизонта. Им кажется, что именно здесь, в направлении исчезновения болида, и упал метеорит. Между тем в действительности исчезновение болида у горизонта свидетельствует о том, что данный пункт наблюдений расположен далеко от места падения метеорита — на окраине области видимости световых явлений, связанных с падением, часто отстоящей от места падения на расстоянии сотен километров.

Таким образом, если не было замечено самое падение метеорита на землю или не были слышны определенные характерные звуки, вызываемые падающим метеоритом при его приближении к земле (свист, жужжание, гул и «клевок» — удар метеорита о грунт), то не имеет смысла искать упавший метеорит. Определить место возможного падения метеорита можно только на основании собранных из разных пунктов показаний очевидцев о направлении движения болида и о положении его видимой траектории на небесной сфере. Поэтому очень важно после полета яркого болида провести массовый опрос очевидцев о наблюдавшихся ими явлениях. Особенно важно при этом определить, по возможности точнее, положение на небесной сфере облачка в области задержки — более темного, иногда черного, сгущения в конечной (нижней) части пылевого следа, оставленного болидом на небесном своде. Это облачко бывает расположено вблизи зенита места падения метеорита, и следовательно, по этому облачку можно приблизительно определить место падения метеорита.

Однако нужно иметь в виду, что далеко не каждый яркий болид оканчивается падением метеорита. Тем не менее научное значение всестороннего изучения болидов не зависит от того, последовало после болида падение метеорита или нет. Получение надежных данных об условиях движения болидов в земной атмосфере и определение орбит метеорных тел, вызвавших появление болидов, столь же важны и в том случае, если метеорное тело во время движения в атмосфере полностью разрушилось и земной поверхности в виде метеорита не достигло.

Если очевидец заметил или уверенно запомнил только немногие детали явления, то и в таком случае нужно сделать запись того, что наблюдалось. Следует иметь в виду, что даже краткие сведения, в которых указывается только, наблюдались или нет в данном пункте световые явления или были или нет слышны какие-либо звуки, имеют определенное значение. Действительно, если будут получены такие сведения из многих населенных пунктов, расположенных с разных сторон и на разных расстояниях от места падения метеорита, то можно будет определить приближенно границу области распространения световых и звуковых явлений. По этим же данным в свою очередь можно косвенно судить о направлении и наклоне траектории болида.

Краткое описание болида составляется по следующей схеме:

Краткие сведения о болиде
(указывается число, месяц и год)

1. *Дата и время наблюдения.* Желательно время полета болида или видимости тех или иных световых явлений указать с точностью до минуты. Если же наблюдатель не имел часов, то время указывается приблизительно, причем необходимо сделать об этом оговорку. Время нужно указать местное декретное или московское, оговорив, какое именно время указывается.

2. *Место наблюдения.* Нужно указать название населенного пункта, района и области, где наблюдались явления, а также направление и расстояние в километрах этого пункта по отношению к какому-нибудь крупному населенному пункту (городу, районному центру и т. д.).

3. *Видимость световых явлений.* В описании указывается, наблюдался ли огненный шар (болид) или же было замечено только освещение местности (ночью) или пылевой след на небе (днем).

4. *Звуковые явления.* Нужно указать, были или не были слышны какие-либо звуки, а если возможно, то следует описать их характер, указать число ударов, силу и характер грохота, гула и т. д.

Если очевидец заметил и хорошо запомнил другие какие-либо подробности, то нужно об этом указать в описании. Кроме того, желательно отметить, было ли небо безоблачным, или же частично или полностью покрыто облаками.

Под описанием указывается фамилия, имя и отчество очевидца и его почтовый адрес.

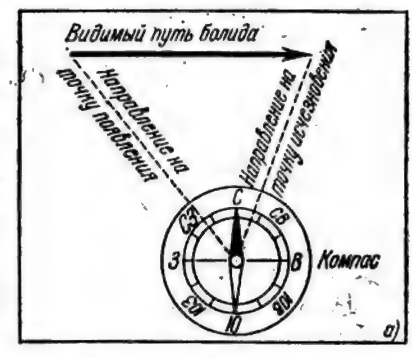
Для детального изучения явлений, наблюдавшихся при полете болида, особенно для определения места возможного выпадения метеорита (если при этом метеорит еще не был найден), а также для определения его атмосферной траектории и вычисления элементов орбиты, необходимо составить насколько возможно полное описание по указанной ниже программе. Однако, если оче-

видец затрудняется ответить на все вопросы программы, нужно записать ответы только на те вопросы, которые не вызыва от у него затруднений.

Наблюдение болида
(указывается число, месяц и год)

1. *Дата и момент полета болида.* Момент полета болида желательно указать с точностью до минуты. Необходимо отметить, какими часами пользовался очевидец и их точность.

2. *Место наблюдения.* Нужно указать название населенного пункта, района и области, где наблюдался болид, а также отметить, находился ли очевидец в помещении или же был на улице, чем занимался в этот момент и что привлекло его внимание, когда он заметил болид. Желательно также указать географические координаты пункта наблюдений.



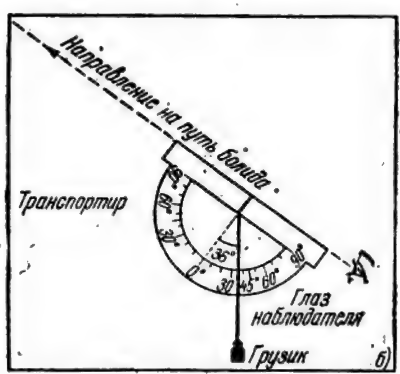


Рис. 157. Способ измерения: *а*) азимута при помощи компаса, *б*) угловой высоты при помощи транспортира.

3. *Видимый путь болида.* Для определения видимого пути болида на небесном своде и направления его движения нужно измерить координаты точек появления и исчезновения болида. Для этой цели нужно измерить азимут и угловую высоту этих точек (рис. 157) с помощью компаса или какого-либо иного угломерного прибора (буссоли, теодолита и т. д.). Приблизительно угловую высоту можно определить путем сравнения с видимой высотой Солнца над горизонтом (в момент наблюдения), если болид наблюдался днем. При наблюдении болида ночью для определения угловой высоты точек его видимого пути можно воспользоваться сравнением с положением на небе звезд созвездия Большой Медведицы или других, особенно Полярной звезды. Последняя укажет и направление севера, следовательно, относительно Полярной звезды можно определить и азимут точек пути болида. В лунную ночь угловую высоту точек пути болида можно определить путем сравнения с угловой высотой Луны над горизонтом. Более точно угловую высоту можно измерить при помощи обыкновенного транспортира с подвешенным к его центру грузиком на тонкой нити, как это показано на рис. 157, *б*. Наконец, угловую

высоту приближенно можно определить и при помощи пальцев вытянутой руки. «Четверть» на расстоянии вытянутой руки равна примерно 17°.

При помощи транспортира или другого какого-либо угломерного прибора следует также определить угол наклона видимого пути болида на небе относительно горизонта.

Если болид наблюдался ночью при безоблачном небе и наблюдатель имеет звездную карту, то следует хорошо запомнить точки появления и исчезновения болида среди звезд и нанести эти точки на звездную карту, соединив их между собой чертой и указав стрелкой направление движения болида (рис. 158). При отсутствии такой карты желательно на глаз сделать схематический рисунок расположения наиболее ярких звезд того участка неба, где пролетел болид, и указать стрелкой путь болида. Желательно также сделать рисунок пути болида на небе и в том случае, когда болид наблюдался днем. В этом случае на рисунке нужно будет указать расположение стран света и зарисовать какие-либо ориентиры (строения, деревья и т. д.).

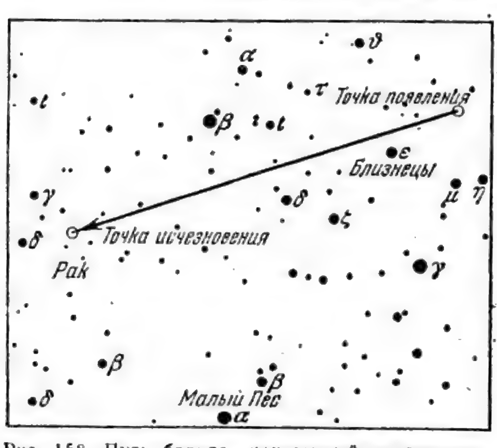


Рис. 158. Путь болида, нанесенный на звездную карту.

После подробного описания видимого пути болида нужно будет отметить, был ли замечен болид в самом начале или же спустя некоторое время после его появления и какая точка его пути принята за начало полета, а также указать, исчез ли болид на виду у очевидца, не долетев до горизонта, или же скрылся за горизонтом или какими-либо строениями, деревьями и т. д.

4. *Продолжительность полета болида.* Как известно, болид пролетает весь свой путь по небу в течение всего лишь нескольких секунд и редко больше. След же, оставляемый болидом на небесном своде в виде дымной полосы, бывает виден в течение многих минут, а иногда и свыше часа. В ответе на данный вопрос нужно указать продолжительность полета болида, а не видимости оставленного им следа. Для определения продолжительности полета полезно применять такой способ. После исчезновения болида очевидец, смотря на часы, повторяет все те действия, которые он успел совершить во время полета болида, например: выбежал из комнаты, успел что-либо сказать и т. д., и по секундной стрелке часов определяет продолжительность явления. Можно определить продолжительность и без часов путем небыстрого счета: раз, два,

три и т. д. В описании следует указать, каким способом очевидец определил продолжительность полета болида.

5. *Размеры и яркость болида.* Под размером болида понимается угловой диаметр его, который приблизительно можно определить путем сравнения с полным диском Луны или Солнца, угловой диаметр которых равен 0°,5, или 30′. Если болид был меньше, то его размеры указываются в долях диска Луны или Солнца. По таким данным впоследствии, когда будет вычислено расстояние в километрах от наблюдателя до болида, можно будет определить и линейный, т. е. выраженный в метрах, диаметр болида. Не следует указывать видимый размер болида в метрах,



Рис. 159. Болид, наблюдавшийся при падении метеоритного дождя Кунашак 11 июня 1949 г. в Челябинской области, по рисунку очевидца.

сантиметрах и т. д., так как непосредственно определить линейный размер болида невозможно. Не следует также сравнивать болид с какими-либо земными предметами, так как и по таким данным также нельзя будет определить линейный размер болида. Всем ведь известно, что чем дальше от наблюдателя расположен какой-либо предмет, тем меньше он будет казаться наблюдателю.

Удобно определить угловой размер болида при помощи сравнения с большим пальцем вытянутой руки, указав при этом, во сколько раз больше или меньше пальца был болид или был равен ему.

Желательно определить и указать в описании отношение длины к ширине или поперечному сечению головы болида. Нужно также определить размер хвоста болида по сравнению с самим болидом, указав, во сколько раз он был больше диска болида.

Оценку яркости болида следует производить также путем сравнения с Солнцем или Луной. В описании следует отметить, слепил ли болид глаза или же на него можно было смотреть свободно.

6. *Форма болида.* При благоприятных обстоятельствах и внимательном наблюдении удается рассмотреть голову болида, которая может иметь шарообразную, каплевидную овальную или резко вытянутую форму (рис. 159 и 160). Форма головы болида, а также длина и форма его хвоста отчасти зависят от направления движения болида относительно места расположения наблюдателя. Так, например, если болид летел прямо на наблюдателя, т. е. по лучу зрения, то он будет казаться ему шарообразным и неподвижным, как бы повисшим в воздухе наподобие осветительной ракеты. В этом случае у болида совсем не будет видно хвоста, который оказывается закрытым от наблюдателя самим болидом. Наоборот,

если болид пролетел в направлении, перпендикулярном по отношению к наблюдателю, то он будет казаться ему вытянутым, а хвост его — наиболее длинным. Таким образом, форма болида и относительная длина его хвоста могут косвенным образом характеризовать направление движения болида относительно наблюдателя, и эти данные полезно учитывать при обработке всего наблюдательного материала. Поэтому очень желательно как можно точнее и полнее определить и указать в описании форму болида и относительную длину его хвоста.

В описании нужно далее указать, наблюдались ли во время полета болида вспышки и если наблюдались, то на каких участках

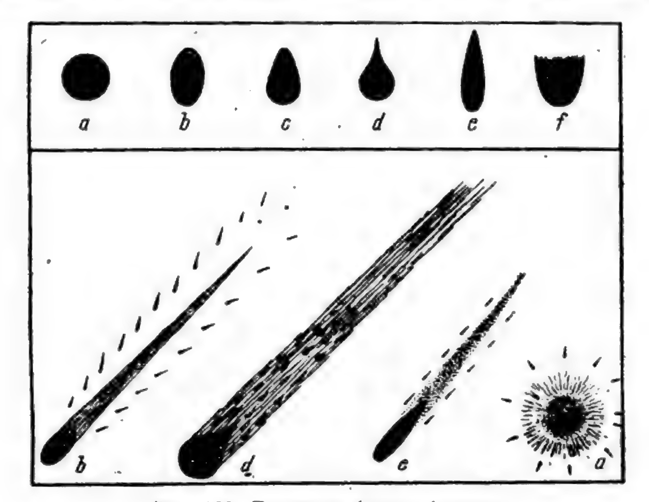


Рис. 160. Типичные формы болидов.

его пути (в долях длины всего пути, считая от его начала). То же самое нужно указать и в отношении искр, если они наблюдались при полете или дроблении болида. Наконец, нужно указать, исчез ли болид внезапно, как бы мгновенно потухнув, или же перед исчезновением он раздробился на части. В последнем случае желательно указать, на сколько частей болид раздробился и — по возможности — размеры отдельных частей по сравнению с самим болидом. Еще желательно определить и указать в описании, сколько времени (секунд или долей секунды) были видны после дробления отдельные части болида, в каком направлении они летели и в какой последовательности исчезали.

7. *Цвет*. Цвет болида определяется путем сравнения с цветом Солнца или Луны (на разных высотах расположения их над горизонтом, имея в виду, что Солнце или Луна при закате становятся красными); можно, далее, сравнивать цвет болида с цветом накала металла при электросварке, с цветом электрической или керосиновой ламп и т. д. Желательно цвет указать отдельно для самого

болида и для его хвоста, а также осколков и искр, образовавшихся при дроблении болида.

Нередко внутренняя часть болида (ядро) и наружная (оболочка), а также отдельные части его хвоста имеют различные оттенки; кроме того, цвет болида может изменяться во время полета. Поэтому если очевидец заметил все такие подробности в окраске болида и его частей, а также изменение цвета болида во время его полета, необходимо обо всем этом сказать в описании.

8. *Освещение местности.* Яркие болиды, пролетающие в ночное время при безоблачном небе, обыкновенно очень сильно освещают местность на сотни километров вокруг своеобразным, как бы мигающим или дрожащим светом. Даже и днем при полете ярких болидов очевидцы, находящиеся в помещениях, нередко замечают возникновение кратковременного блеска или вспышки, а находящиеся на улицах наблюдают появление вторичных (кроме солнечных), быстро поворачивающихся теней от различных предметов.

В описании нужно отметить характер и величину освещенности, сравнив ее, например, с силой освещенности в полнолуние, сумерки и т. д. Если во время ночного полета болида очевидец находился на улице, то желательно определить и указать в описании, на каком расстоянии от него были хорошо видны те или иные предметы, наблюдались ли тени от них и на каком расстоянии предметы различались с трудом; каков был характер освещенности: спокойный, мигающий, дрожащий и т. д.

В редких случаях, например, при полете очень ярких болидов, очевидцы иногда отмечали, что во время полета болида ими ощущалось тепло на лице. Поэтому на такое явление следует обратить внимание, и в случае, если очевидец действительно совершенно явственно ощутил тепловое действие болида, то необходимо это указать.

9. *След болида.* При наблюдениях следа необходимо, прежде всего, определить общую продолжительность его видимости вплоть до полного исчезновения. Одновременно нужно пронаблюдать все изменения формы и окраски следа, а также перемещение его по небесному своду. Обычно след вначале имеет вид совершенно прямолинейной полосы. Однако вскоре он начинает искривляться, растягиваться в стороны и смещаться по небу (рис. 161), постепенно ослабевая. Перед исчезновением след разрывается на части, которые принимают вид отдельных клочьев. В нижней части следа (не всегда в самом конце его) обычно наблюдается темное, иногда черное, сгущение — так называемое облачко в области задержки.

Поскольку след часто бывает виден в течение продолжительного времени и изменения в нем происходят относительно медленно, можно очень тщательно провести наблюдения и составить подробное описание, которое будет иметь большое научное значение.



Рис. 161. Вверху — след болида, наблюдавшегося 19 октября 1941 г. на Чукотке; внизу — тот же след спустя несколько минут после полета болида. Фотоснимки Д. Дебабова.

Смещение следа можно определить путем многократных измерений его положения в разные моменты, которые могут быть проделаны при помощи компаса по азимуту и при помощи транспортира по угловой высоте. Такие измерения желательно делать через небольшие промежутки времени, например, через 3—5 минут, отмечая всякий раз момент измерений.

Далее нужно проследить за окраской следа и сделать по возможности подробное описание. Окраска следа обычно быстро изменяется по мере изменения высоты Солнца над горизонтом или глубины погружения его под горизонт.

Особенно внимательно следует пронаблюдать облачко в области задержки и сделать подробное его описание. В описании желательно указать форму облачка и последовательное ее изменение, затем цвет и угловые размеры, а также отметить все другие подробности, если они наблюдались. Очень важно измерить азимут и угловую высоту облачка и указать, наблюдалось ли оно в самом конце следа или же след продолжался еще дальше облачка. В последнем случае нужно указать форму, длину, цвет и последовательные изменения этой части следа. Нужно также тщательно пронаблюдать и описать отдельные облачка, которые могут появиться после исчезновения отдельных частей болида, образовавшихся при его дроблении; такие облачка в виде сгущений могут наблюдаться в разных частях следа и без связи с дроблением болида.

10. *Звуковые явления.* Обычно после яркого болида, по прошествии нескольких минут после того как он исчезнет, до слуха очевидцев доносятся сначала отдельные отрывистые удары, напоминающие взрывы, а следом за ними грохот, треск и гул. Часто можно заметить, что грохот как бы удаляется от очевидца вдоль пути болида в направлении движения его и одновременно в обратном направлении. Объясняется это тем, что до слуха очевидцев звуковые волны доходят, естественно, не одновременно от всех точек траектории метеорного тела: сначала приходят волны от близких к нему участков траектории, а затем от все более удаленных (рис. 162).

При наблюдении звуковых явлений необходимо, прежде всего, определить (по возможности по часам) и указать в описании, через какой промежуток времени в секундах или минутах после исчезновения болида раздался первый удар, а затем число отдельных ударов и через какой промежуток времени они следовали один за другим. Далее нужно определить силу ударов, сравнив, например, с выстрелами из орудий, взрывами бомб, залпами из ружей и т. д., и отметить, который из ударов был наиболее сильным. Нужно также описать характер последующих звуков и общую их продолжительность, отметив по часам момент последних звуков грохота и затем момент прекращения гула.

Очевидцами многих падений метеоритов и полетов ярких болидов неоднократно отмечалась слышимость слабых звуков во время

самого полета болида, т. е. раньше того, как раздаются удары. Такие звуки напоминают шуршание, шелест древесных листьев, слабый треск и т. д. По мнению некоторых ученых, эти звуки вызываются электрическими причинами, почему болиды, сопровождающиеся подобными звуками, называются электрофонными. Изучение и окончательное решение вопроса о природе этих звуков имеет исключительно важное научное значение. Поэтому крайне необходимо обратить внимание на слышимость указанных звуков, а в случае их возникновения при полете того или иного болида сделать самое подробное их описание.

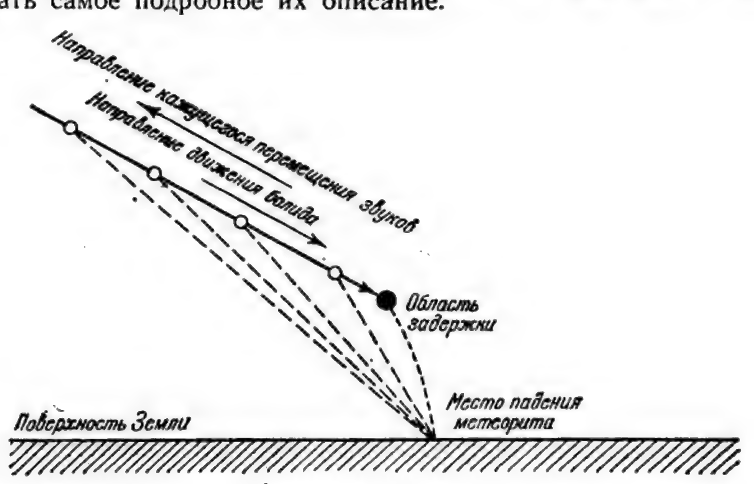


Рис. 162. Распространение звуковых волн от траектории болида. Схематический рисунок.

В конце описания наблюдавшегося болида нужно указать состояние погоды в момент полета болида. Очень желательно приложить сведения о погоде по данным ближайшей гидрометеорологической станции. Наиболее важно знать состояние облачности, температуру, давление, направление и силу ветра.

Под описанием указываются полностью имя, отчество и фамилия очевидца, его род занятий, специальность и почтовый адрес.

Зарисовки и фотографирование. К описанию очень желательно приложить зарисовки болида и его следа, сделанные хотя бы схематически простым карандашом. На таких рисунках нужно показать форму болида и его хвоста для двух-трех разных моментов времени, например: в начале полета, в середине пути и перед исчезновением (в момент дробления, если таковое наблюдалось). Следует знать, что не только цветные рисунки или даже картины, сделанные художником, но и схематические зарисовки, на которых показаны только контуры, изображающие форму и некоторые другие детали болида, имеют значение.

Особенно желательно сделать серию, например, из пяти-шести рисунков следа болида в разные моменты его видимости. На таких

рисунках в первую очередь следует передать форму следа и облачка в области задержки, а также отдельных сгущений, узелков и т. п. образований, наблюдавшихся в разных участках следа. На каждом рисунке обязательно надо указать момент зарисовки.

Исключительно большое научное значение имеет фотографирование. Сфотографировать самый болид вследствие внезапности его появления и кратковременности видимости почти невозможно. Впрочем, может случиться так, что в момент полета болида случайный очевидец имел с собой фотоаппарат, готовый к фотографированию. Может быть, даже он в этот момент что-либо фотографировал. В таком случае нужно немедленно направить фотоаппарат на летящий болид и сделать съемку с моментальной выдержкой (от 1/20 до 1/250 с).

Однако совсем нетрудно получить хорошую серию фотоснимков следа болида, который, как говорилось выше, бывает виден в течение десятков минут, и вполне возможно не торопясь подготовить фотоаппарат к фотографированию. Фотографировать следует с одного и того же пункта и так, чтобы на снимках получилось изображение горизонта с какими-либо ориентирами. Для этих ориентиров нужно потом при помощи компаса измерить азимут.

Давать какие-либо конкретные указания относительно выдержек при фотографировании нецелесообразно ввиду различия возможных условий освещения, при которых может наблюдаться след болида. Опытный фотограф, учитывая эти факторы, сам сможет определить приблизительно нужную величину выдержки. Нужно при этом иметь в виду, что даже при значительных ошибках в выдержке снимки могут получиться весьма ценные и могут быть использованы при научной обработке.

При фотографировании следует придерживаться одного простого правила: не жалеть фотопленку и делать возможно большее число снимков при разных выдержках.

Негативы должны быть пронумерованы, а в прилагаемой к ним описи под соответствующим номером негатива нужно указать момент его получения с точностью до минуты, а также азимуты отдельных ориентиров, условия фотографирования (сорт фотопластинок или фотопленки, тип фотоаппарата, продолжительность выдержки), условия проявления (тип проявителя и продолжительность проявления) и в случае надобности сделать разные другие примечания.

Все рисунки и негативы (или непроявленные фотопластинки и фотопленки) нужно приложить к описанию болида и в хорошей упаковке отослать в Комитет по метеоритам Академии наук СССР по адресу: 117313, Москва, В-313, ул. Марии Ульяновой, д. 3, корп. 1.

Наблюдения падений, поиски и сбор метеоритов. Как говорилось выше, облачко в области задержки бывает расположено вблизи зенита места падения метеорита или метеоритного дождя. Отсюда следует, что если после полета болида облачко оказалось

расположенным высоко на небе, недалеко от зенита или в самом зените, то, значит, метеориты выпадут где-то недалеко от этого места. Поэтому нужно сейчас же после исчезновения болида особенно внимательно прислушаться к тем звукам, которые последуют вскоре. Падающие после области задержки на землю метеориты сопровождаются свистами, жужжанием, гулом, «уханьем» и, наконец, ударом метеорита о землю, так называемым «клевком». Такие звуки могут быть слышны на расстоянии до 2—3 км от места падения метеорита. При дневных падениях с небольшого расстояния можно заметить и самый метеорит, приближающийся к земле в виде черного предмета. От места падения часто разлетаются в стороны комья земли или куски дерна и поднимается вверх пыль.

Таким образом, если облачко было расположено вблизи зенита и если, кроме того, были слышны звуки падающих метеоритов, которые доносятся уже после звуков, вызываемых полетом болида (ударов, грохота и гула), то необходимо организовать поиски упавших метеоритов. Поиски проводятся путем тщательного осмотра местности. Как уже было сказано, метеориты массой в несколько килограммов способны образовать при своем падении небольшие ямки. Только маленькие метеориты, массой в сотни граммов, могут оказаться лежащими на поверхности земли. Однако требуется большое внимание, чтобы заметить небольшой метеорит, имеющий черную поверхность (покрытую корой плавления) и неотличимый с первого взгляда даже на небольшом расстоянии от комьев земли. Еще труднее найти метеорит в траве, кустарниках и т. д.

Так как метеориты чаще всего падают группами или даже метеоритными дождями, после которых можно собрать сотни и тысячи камней, то при находке первого метеорита не следует прерывать поиски. Нужно внимательно осмотреть найденный метеорит. Если окажется, что он имеет неправильную, обломочную форму и, кроме того, его поверхности хотя и покрыты корой плавления, но отличаются неровностями, характерными для свежего раскола и непохожими на типичные регмаглипты (рис. 163 и 164, ср. рис. 165), то можно быть уверенным, что в данном случае выпала группа метеоритов или даже метеоритный дождь. Поэтому нужно еще более внимательно подвергнуть обследованию данную местность на еще большей площади.

Как известно, метеоритные дожди выпадают на площади, имеющей грубо эллиптическую форму и называемой *эллипсом рассеяния*. Эта площадь измеряется десятками и сотнями квадратных километров. Длина эллипса может иногда простираться на много десятков километров. Последующие находки метеоритов, их размеры и места расположения покажут приблизительно ориентировку на местности эллипса рассеяния. Можно будет приблизительно установить место расположения головной части эллипса, т. е. того участка, где должны выпасть наиболее крупные экзем-

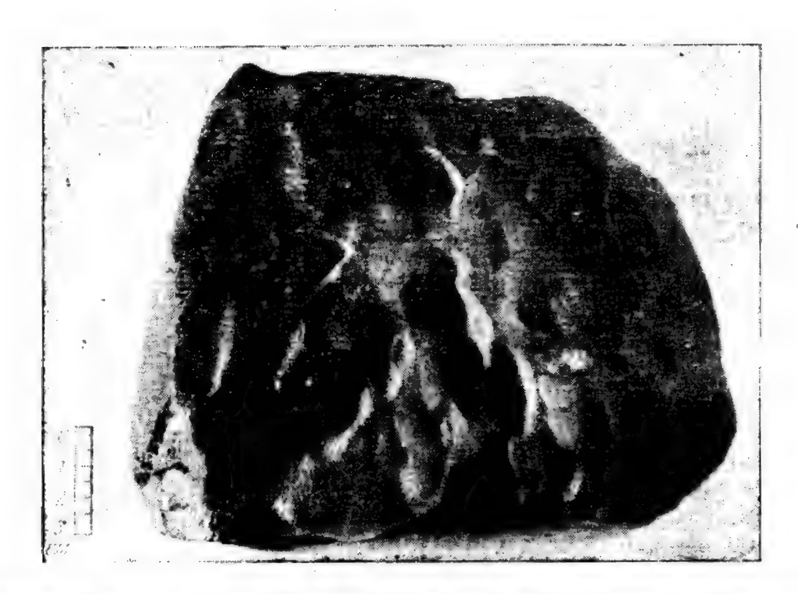


Рис. 163. Каменный метеорит Венгерово, массой около 10 кг, упавший 11 октября 1950 г. На поверхности метеорита видны типичные регмаглипты.



Рис. 164. Один из индивидуальных экземпляров каменного метеоритного дождя Жовтневый Хутор, выпавшего 9 октября 1938 г. в Донецкой области УССР. На поверхности метеорита второго рода видна характерная шероховатость излома.

пляры, а затем тыловой, где должны выпасть самые маленькие экземпляры. Следует при этом иметь в виду, что обычно направление большой оси эллипса приблизительно, а иногда и довольно точно, совпадает с направлением проекции траектории болида на земную поверхность, т. е. с направлением движения метеорного тела (болида) в земной атмосфере. Облачко в области задержки обычно бывает расположено в зените пункта, находящегося в тыловом конце эллипса. Учитывая все это и руководствуясь первыми находками метеоритов, и следует вести дальнейшие поиски метеоритов.



Рис. 165. Каменный метеорит Забродье, массой около 3 кг, упавший 22 сентября 1898 г. Хорошо видна ориентированная (конусообразная) форма метеорита и вытянутые регмаглипты.

Если при осмотре первого найденного метеорита окажется, что он имеет ориентированную форму и сглаженные, как бы обкатанные, поверхности, покрытые корой плавления, а на боковых сторонах его видны хорошо выраженные *регмаглипты* (своеобразные углубления, как бы вмятины от пальцев в мягкой глине или пластилине) резко вытянутой формы наподобие желобков (рис. 165), то можно считать, что метеорит выпал в единственном экземпляре и, следовательно, дальнейшие поиски будут бесполезны.

При обнаружении метеорита необходимо прежде, чем поднять его или извлечь из ямы, тщательно обследовать место падения и отметить все замеченные подробности. Если наблюдалось самое падение метеорита на землю и к нему подбежали тотчас же после падения, то нужно, прежде всего, определить на ощупь степень нагретости метеорита. В этом случае нужно установить, можно ли держать руку на метеорите, не отнимая, или же он настолько горяч, что рука не выдерживает прикосновения к метеориту; желательно также сравнить с чем-либо степень нагретости метео-

рита. Затем нужно определить промежуток времени с момента падения метеорита до полного его остывания.

При обследовании места падения метеорита нужно определить характер местности (луг, пашня, целина, дорога и т. д.), а также тип почвы (черноземная, супесчаная, суглинистая и т. д.). Если будут замечены комья земли или куски дерна, разбросанные вокруг метеоритной ямы, нужно измерить расстояние до наиболее удаленных, установить преимущественное направление разбросанных комьев земли и измерить азимут этого направления относительно ямы, определить общие контуры разброса, размер и приблизительный вес отдельных наиболее крупных кусков земли или дерна и их расположение относительно ямы. Сделанные наблюдения нужно нанести на схематический чертеж, на котором показывается план ямы. Для этого измеряется поперечник ямы в разных азимутах, зарисовывается в плане ее контур. Если метеорит не был засыпан сверху землей, то необходимо измерить глубину залегания в яме его верхней поверхности, которая при этом должна быть тщательно осмотрена. В случае, если будут обнаружены отколы на метеорите небольших осколков, о чем можно заключить по наличию на нем участков со свежими поверхностями расколов, на которых видно внутреннее вещество метеорита, то необходимо еще раз внимательно осмотреть окрестности ямы и попытаться найти отколовшиеся от метеорита осколки. Если такие осколки будут найдены, нужно заметить, как они лежали на земле, измерить направление и расстояние от ямы до мест расположения осколков и нанести их на план. Нужно иметь в виду, что иногда осколки падают на расстоянии сотен метров от места падения метеорита. Бывает, что метеорит, падая после области задержки, раскалывается на несколько крупных частей, которые падают на некотором расстоянии одна от другой. Поэтому в случае находки нескольких относительно крупных осколков нужно попытаться сложить их между собой, и если при этом будет обнаружено, что должны быть еще осколки, следует поискать их в окрестностях уже найденных осколков.

Прежде чем извлечь метеорит из ямы, необходимо установить, как был он в ней расположен, что отчасти выясняется и в процессе извлечения метеорита. Нужно выяснить, плотно ли прилегал метеорит к стенкам ямы или же между ним и стенками имелся зазор. В последнем случае нужно измерить ширину и глубину зазора, а также его направление относительно центра ямы. Далее, нужно определить, какой стороной метеорит был расположен кверху и какой стороной он был направлен к северу; после извлечения метеорита нужно отметить на нем его нижнюю сторону.

Извлекать метеорит из ямы надо с большой осторожностью, чтобы, во-первых, не повредить метеорит и, во-вторых, сохранить по возможности ненарушенными стенки ямы с целью повторного их изучения, если в этом возникнет необходимость.

Если метеорит имеет сравнительно небольшую массу, например, до 10—20 кг, то его извлечение из ямы не представит трудностей. При извлечении снова нужно внимательно проследить за тем, не разбился ли метеорит при падении или не откололись ли от него небольшие осколки. Такие отколы можно легко пропустить, если не быть внимательным, так как метеорит, а вместе с ним и отколы могут быть покрыты намазками почвы. После извлечения метеорита нужно определить направление (азимут и угол наклона относительно центра ямы и вертикальной линии соответственно) проникновения метеорита в почву. Для этого нужно измерить наклоны стенок ямы. Следует при этом иметь в виду, что часто направление падений отдельных метеоритов не совпадает с направлением движения болида или с направлением большой оси эллипса рассеяния. Угол наклона чаще всего бывает равен 20—30° относительно вертикальной линии.

В случае, если метеорит при падении разбился, то его придется извлекать из ямы по частям. При этом также нужно определить, какие части метеорита были расположены сверху и какие — на дне ямы, а также как располагались в яме остальные части, например плотно ли они прилегали друг к другу или же были перемешаны с почвой. В последнем случае нужно очень тщательно исследовать весь рыхлый материал, заполняющий яму, чтобы выбрать из него все метеоритные осколки, вплоть до самых малых. Затем нужно внимательно обследовать окрестности ямы с целью отыскания других метеоритных осколков, которые могли быть выброшены из ямы вместе с комьями земли.

Нередко случается, что метеорит в яме бывает засыпан сверху рыхлым слоем почвы. В таком случае нужно сначала измерить глубину от уровня поверхности почвы до поверхности насыпного слоя, а затем толщину этого слоя, что равносильно глубине залегания верхней поверхности метеорита от уровня поверхности почвы.

Бывает, что при падении метеориты делают рикошет и выскакивают из образованных ими лунок и ям, падая на некотором расстоянии в стороне. В этом случае нужно определить направление и измерить расстояние от места первого падения (лунки или ямы) до места второго падения, т. е. до того места, где метеорит был найден. При этом нужно отметить, как был расположен метеорит, подробно обследовать и описать яму или лунку первого падения, а затем второго, если в этом втором случае метеорит образовал какое-либо углубление в почве. При обследовании ям или лунок нужно измерить их поперечник и глубину, определить форму и описать микрорельеф данного места, установив наличие, направление и величину наклона поверхности почвы.

Если производится сбор метеоритного дождя, то изложенные выше указания к обследованию места падения метеорита выполняются в отношении каждого найденного метеорита. Последние должны нумероваться общим порядковым номером в порядке их

нахождения; под этими же номерами должны быть обозначены и соответствующие ямы или вообще места находок метеоритов внутри эллипса; эти номера указываются и на карте эллипса рассеяния. При сборе метеоритного дождя нужно составить карту эллипса и указать на ней места находок каждого индивидуального экземпляра в виде кружков разного размера соответственно относительным размерам экземпляров.

При сборе метеоритов очень важно собрать в районе эллипса рассеяния и в его окрестностях образцы почвы для обнаружения в ней метеорной и метеоритной пыли (рис. 166). Образцы почвы

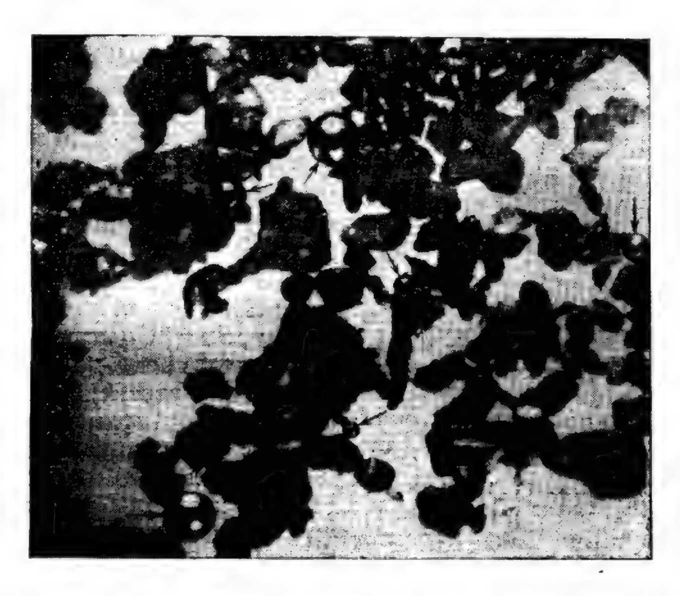


Рис. 166. Метеоритная (частицы неправильной формы) и метеорная (шарики, указанные стрелками) пыль, извлеченная из почвы с места падения Сихотэ-Алинского железного метеорита.

следует брать с поверхностного слоя до глубины в 10 см, объемом до 10 $см^3$ каждый образец, через каждые 50—100 м в двух взаимно перпендикулярных направлениях: по меридиану и с востока на запад. Кроме того, следует взять образцы рыхлого материала, заполняющего каждую более крупную воронку или яму. В зависимости от размера воронки или ямы следует брать от одного до трех—пяти образцов из каждой воронки или ямы.

Иногда метеориты при падении случайно попадают на крыши домов, сараев или других каких-либо сооружений. В таких случаях обязательно нужно произвести самое тщательное обследование и сделать подробное описание характера разрушения, измерить отверстие и определить его форму; особенно важно измерить по пробою и меткам, оставленным метеоритом на отдельных частях

строения, направление (азимут) и угол (относительно вертикального направления) падения метеорита.

При выпадении метеоритного дождя зимой в глубокий снег сбор его целесообразно провести в первую весну, сразу же после схода снега. Как известно, небольшие метеориты, массой в сотни граммов и до нескольких килограммов, при падении в снег обычно застревают в нем и опускаются на мерзлую поверхность почвы постепенно, по мере подтаивания под ними снега и под влиянием своего веса. Когда сойдет снег, при внимательном осмотре местности можно заметить лежащие на поверхности почвы метеориты.

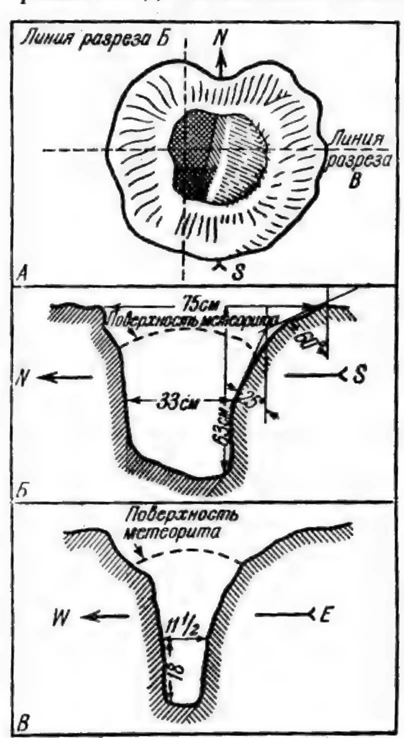


Рис. 167. Схематический чертеж ямы, образованной падением наиболее крупного индивидуального экземпляра, массой 32 кг, каменного метеоритного дождя Жовтневый Хутор.

Само собой разумеется, что фотографирование метеоритных воронок или ям, а особенно повреждений строений, нанесенных метеоритами, а также вообще местности, на которой рассеялся метеоритный дождь, имеет исключительно большое научное значение. Поэтому, если сборщик метеоритов имеет фотоаппарат, то обязательно следует произвести фотографирование всех объектов, связанных с падением метеорита. Около фотографируемых объектов желательно помещать какие-либо предметы для масштаба, например лопату, топор и т. д. Лучше всего для этого, конечно, использовать рейку с нанесенными на ней делениями сантиметров, дециметров и метров. При фотографировании ямы с целью получения изображения ее контуров или формы дна нужно фотографический аппарат устанавливать вертикально, а при фотографировании той же ямы в перспективе фотоаппарат устанавливается поочередно в четырех направлениях: в направлении падения метеорита, затем в противоположном направлении и, наконец, в двух направлениях, перпендикулярных к первым. В описи негативов нужно подробно описать сфотографированные объекты и указать условия съемки. Большое значение имеют стереоскопические снимки. Помимо фотографирования, нужно также сделать чертежи и схематические рисунки отдельных ям в плане и в разрезе, с указанием на рисунках и чертежах всех замеченных подробностей (рис. 167).

Наблюдения, сделанные при обследовании места падения и сборе метеоритов, нужно записать по следующей схеме:

Обстановка падения метеорита
(метеоритного дождя)
(указывается название и дата падения)

1. *Дата и время падения.*
2. *Место падения.*
3. *Звуковые явления.* Описываются звуковые явления, которые сопровождали падение на землю отдельных метеоритов после области задержки (свист, жужжание, гул и т. д.). В описании указывается, на каком расстоянии от места падения метеорита были слышны звуки; промежуток времени, прошедший с момента исчезновения болида до возникновения звуков, характер и последовательное изменение звуков, а также их общая продолжительность.
4. *Видимость падающего метеорита.* Указывается, как высоко был замечен падающий метеорит (высота в данном случае указывается в метрах по приблизительному определению), на что был он похож, какую имел форму, цвет и размеры; был ли замечен самый момент удара метеорита о грунт и наблюдался ли при этом разброс комьев земли или столб пыли на месте удара метеорита.
5. *Состояние метеорита.* Указываются все замеченные наблюдателем явления в момент обнаружения метеорита: через какой промежуток времени после падения был обнаружен метеорит, какова была степень его нагретости, продолжительность остывания, а также и все другие замеченные подробности.
6. *Попадания.* Подробно описываются все наблюдения, сделанные при обследовании повреждений, нанесенных метеоритом, в том порядке, как указано выше.
7. *Эллипс рассеяния и места падений отдельных метеоритов.* Описывается характер местности, где выпал метеорит или рассеялся метеоритный дождь. К описанию прилагается карта эллипса и отдельные чертежи-планы отдельных воронок и ям. Описание, карта и чертежи составляются, как указано выше.

В конце описания нужно указать фамилию, имя и отчество, род занятий и специальность, а также почтовый адрес очевидца падения метеорита или лица, производившего обследование места падения и составившего описание.

Описание вместе с собранными метеоритами, образцами почвы, фотографическими снимками, картами, чертежами и рисунками пересылаются в Комитет по метеоритам АН СССР по указанному выше адресу.

Собранные метеориты должны тщательно предохраняться от повреждений. Ни в коем случае нельзя откалывать от них осколки, а тем более раскалывать на куски, так как этим они будут сильно обесценены для науки.

Поиски и сбор давно упавших метеоритов. Нередко метеориты обнаруживаются при случайных обстоятельствах, уже много лет и даже десятки и сотни лет спустя после их падения. Поэтому обыкновенно дата падения таких метеоритов остается неизвестной. Чаще всего попадаются метеориты железные, которые значительно дольше, чем каменные, сохраняются в почве и, кроме того, больше, чем каменные, привлекают к себе внимание.

Метеориты могут быть обнаружены при рытье канав и колодцев, прокладке дорог, разработке торфа, корчевании пней и особенно часто на различных рудниках, при закладке шурфов и т. д. Так, например, был найден в 1938 г. при закладке шурфа железный метеорит Чебанкол, массой свыше 120 кг. На эту железную глыбу обратил внимание рабочий, прокладывавший шурф.

В 1939 г. на одном из сибирских приисков в пробе эксплуатационного разреза был найден другой железный метеорит, получивший название Мальдяк и имевший массу всего лишь около 1 кг.

При подобных же обстоятельствах был найден в 1941 г. на другом сибирском прииске еще один железный метеорит, Бургавли, массой около 25 кг.

Нередко метеориты обнаруживаются при вспашке полей. Так, например, был выпахан в 1928 г. в Новосибирской области каменный метеорит Орловка, массой в 40,5 кг. Крестьянин заинтересовался камнем, лежавшим в серой лесной почве, выкопал его и привез домой в качестве «диковинки», так как в этой местности камней вообще не встречается. Камень два года пролежал в палисаднике перед избой крестьянина, подвергаясь всем превратностям климатического режима этого края. В 1930 г. метеорит был отправлен в Академию наук СССР, где и хранится в настоящее время.

В 1939 г. в окрестностях одного поселка в той же Новосибирской области колхозником был выпахан каменный метеорит массой около 2,5 кг, получивший название Большая Корта. Заподозрив в камне кусок «руды», которая, как он думал, может иметь практическую ценность, колхозник передал свою находку секретарю райкома партии, а последний переслал камень в Новосибирское геологическое управление, где и была установлена метеоритная природа камня.

Необходимо очень внимательно относиться к камням или кускам железа, попадающимся в забоях, шахтах, россыпях, при различного рода земляных работах, при разработке торфа, при распашке полей и, особенно, целинных и залежных земель, а также и при других обстоятельствах. При таких находках нужно отделить осторожно небольшой кусочек, не допуская разрушения всего найденного образца (иногда такой кусочек легко и без всякого ущерба для находки отделяется вследствие начавшегося окисления и разрушения метеорита), и переслать его в Комитет по метеоритам АН СССР. Здесь и будет установлена окончатель-

но природа находки. Нужно сказать, что опознать метеориты, особенно каменные и притом долго пролежавшие в почве, не так легко. Иногда только специалист в результате специального исследования сможет окончательно решить вопрос о природе найденного образца.

Недавно упавшие метеориты, не успевшие подвергнуться выветриванию, обладают следующими основными признаками. Каменные метеориты бывают покрыты тонкой (не свыше 1 мм) черновато-бурой, местами серой от намазок почвы, корой плавления. Эта кора наподобие тонкой скорлупы покрывает со всех сторон метеорит. Она особенно хорошо заметна по краю излома метеорита. Если кора уже начала разрушаться в результате окисления и выветривания при длительном лежании метеорита в почве, то окраска ее становится буровато-красноватой, ржавой. Кора плавления наблюдается и на железных метеоритах, на которых свежая кора имеет слабый синеватый оттенок. Местами, на выступах, кора часто бывает слущена, и здесь наблюдается блеск металла.

Поверхности метеоритов (как каменных, так и железных), покрытые корой плавления, обыкновенно отличаются сглаженностью выступов. Кроме того, на поверхности наблюдаются регмаглипты.

Сравнительно давно упавшие каменные метеориты легко крошатся и распадаются на части. В этом случае можно заметить, что все внутреннее вещество метеорита как бы пропитано продуктами окислов — ржавчиной.

Случайно найденный метеорит, после того как будет окончательно установлена его метеоритная природа, необходимо в целости переслать в Комитет по метеоритам АН СССР. Вместе с метеоритами посылается и подробное описание обстоятельств и места находки. В нем указывается также дата находки, тип почвы, глубина залегания метеорита, расположение его в почве и т. д. Очень желательно к описанию приложить хотя бы схематическую карту местности с указанием на ней двух-трех населенных пунктов и места находки метеорита.

В случае, если найденный метеорит окажется настолько сильно окисленным и выветренным, что распадается на куски, или найден в полуразрушенном состоянии, то нужно очень внимательно обследовать местность вокруг места находки с целью обнаружения возможных осколков метеорита. Как и в предыдущем случае, очень желательно к описанию приложить фотографические снимки общего вида места находки метеорита, равным образом и снимки отдельных деталей. Под описанием указывается фамилия, имя и отчество лица, нашедшего метеорит, его род занятий и специальность, а также почтовый адрес.

За каждый переданный в Комитет по метеоритам АН СССР метеорит, как уже было сказано, нашедшему выдается денежная премия.

Литература

1. Кринов Е. Л. Основы метеоритики. — М.: Гостехиздат, 1955.
2. Кринов Е. Л. Инструкция по наблюдению падений, поискам и сбору метеоритов. — М.: Изд-во АН СССР, 1961.

§ 8. Инструкция для наблюдений переменных звезд

Изучение переменных звезд — это обширное поле деятельности для астронома-любителя. Уже простым глазом можно вести наблюдения переменных звезд до 5-й звездной величины (по всему небу известно более 40 таких звезд), а в призменный бинокль или небольшой телескоп можно получить ценный научный материал о звездах 7—10-й звездной величины.

В настоящее время при помощи крупных телескопов и фотографии обнаружено и исследовано более 30 000 переменных звезд. Астрономы-специалисты не успевают регулярно следить за всеми переменными звездами. Многие даже яркие переменные не имеют продолжительных рядов наблюдений. Сотни любителей во всех странах мира помогают астрономам, наблюдая максимумы цефеид и долгопериодических переменных звезд, минимумы затменных переменных, что позволяет уточнять значения периодов, обнаруживать изменения их во времени. Во многих случаях звезды не показывают правильного периодического хода явлений. Это особенно относится к полуправильным, неправильным, новоподобным и вспыхивающим переменным звездам, закономерности изменения блеска которых сложны и еще не достаточно изучены. В окрестностях хорошо изученных переменных звезд обычно имеется несколько постоянных звезд сравнения, звездные величины которых определялись сравнением с каким-нибудь стандартом (см. § 6, гл. III) многими наблюдателями. Они служат для определения блеска переменной звезды, которая с ними сравнивается. В некоторых случаях их можно использовать, чтобы определить величины звезд сравнения еще неисследованной переменной звезды, но нужно помнить, что точность таких «третьестепенных» определений невелика. Определение звездных величин сравнением со стандартными звездами производится при одинаковом положении сравниваемых звезд над горизонтом. В противном случае необходимо вводить поправку за поглощение в земной атмосфере, учитывающую разность зенитных расстояний сравниваемых звезд.

Выбор и поиски переменных звезд. Выбор звезды для исследования, помимо своих интересов, приходится сообразовывать с имеющимся инструментом. Простым глазом можно оценивать звезды до 5^m. Ниже приведены предельные величины звезд, доступные при наблюдениях в телескоп с отверстием в D мм. В зависимости от качества оптики в действительности предел инструмента может несколько отличаться от рассчитанного.

D	15	25	50	75	100	150	200
m	8,0	9,1	10,6	11,6	12,1	13,0	13,6

Вначале следует выбирать звезды более яркие, далеко от предела, с большими амплитудами изменения блеска, с правильными колебаниями: цефеиды, затменные переменные, звезды типа Миры Кита. После приобретения навыка в оценках блеска можно приступить к более трудным наблюдениям звезд с небольшой амплитудой, с тонкими эффектами в кривых блеска, а также к исследованию неправильных, полуправильных и неизученных переменных звезд.

Выбрав звезду, ее наносят на звездную карту по координатам α и δ той эпохи равноденствия, к которой отнесены звезды атласа, т. е. с учетом прецессии. Это даст возможность грубо найти звезду среди ярких звезд неба. Для наблюдений звезд до $8^m,5$ можно пользоваться большим «Звездным атласом» А. А. Михайлова, где отмечены звезды до $8^m,25$ и, в частности, переменные звезды до $8^m,2$ в максимуме. Для более слабых звезд можно использовать звездные атласы Бечваржа («Атлас неба» и «Атлас эклиптикальных звезд»). Обычно для слабых звезд в рекомендованных изданиях приводится карта окрестностей переменной с указанием звезд сравнения. Поиски следует начинать с отождествления ярких звезд и переходить постепенно ко все более слабым звездам, обозначенным на карте.

Полезно мысленно составить цепочку из звезд от какой-нибудь яркой звезды, видимой невооруженным глазом, к исследуемой переменной, запомнить наиболее характерные конфигурации звезд (двойные и кратные звезды, более яркие звезды, составляющие цепочки, треугольники и другие запоминающиеся фигуры) с тем, чтобы в последующие ночи быстро находить переменную звезду на небе.

Если наблюдатель обладает телескопом с экваториальной установкой, поиски звезды можно облегчить, — найти яркую звезду или характерную конфигурацию звезд с тем же склонением, как и у переменной звезды. Закрепив затем инструмент ключом по склонению, движением по часовому углу легко приводят телескоп на нужное место, где переменная звезда отождествляется по карте окрестностей.

Списки переменных звезд, доступных для наблюдений в инструменты средней мощности, приводятся в табл. 30 отдела «Таблицы». Для некоторых переменных звезд можно найти карты окрестностей и звездные величины звезд сравнения, например, в книге П. Г. Куликовского «Справочник любителя астрономии».

Оценки блеска. Прежде чем оценивать блеск переменной звезды, надо выбрать для нее *звезды сравнения*. Звезды сравнения выбираются поблизости от переменной звезды, желательно в поле зрения инструмента. Надо выбрать несколько звезд, близких по цвету к переменной, с интервалом по блеску порядка $0^m,3$—$0^m,5$. Лишь в крайних случаях можно использовать бо́льшие или меньшие интервалы, так как это снижает точность оце-

нок. Увеличение числа звезд сравнения повышает точность наблюдений. Разность в блеске оценивается в степенях. Методы оценок см. в § 17, гл. IV.

Перед наблюдениями нужно побыть несколько минут в темноте, чтобы глаз приспособился (адаптировался) к слабым освещенностям. При наблюдениях недопустимо применение ярких фонарей, лампочек от карманного фонаря, не защищенных темнокрасным стеклом. Нужно остерегаться также бокового постороннего освещения.

Прежде всего, выберем звезды сравнения, ближе всего подходящие по блеску к переменной, одну ярче, другую слабее ее. Можно выбрать несколько таких пар, если звезд сравнения достаточно. При наблюдениях сравниваемые звезды должны всегда симметрично располагаться относительно центра поля зрения, если они не отстоят от него далеко. Если звезды близки к краям поля зрения или не умещаются в нем, при сравнении блеска нужно быстро переводить инструмент с одного объекта на другой, помещая их всегда в центр поля зрения.

Затем нужно определить число степеней, на которое различается блеск сравниваемых звезд. Так как звезды мерцают, сделать это нелегко. Быстро переводя взгляд с переменной звезды на звезду сравнения, чтобы не ослабло световое ощущение, и повторяя такую операцию несколько раз, чтобы проверить впечатление о различии или равенстве блеска, производим количественную оценку.

Количественная оценка может быть произведена тремя способами: Аргеландера, Пикеринга или Нейланда—Блажко (см. § 17, гл. IV).

Ошибки наблюдений. Случайные ошибки создают рассеяние точек относительно истинной кривой блеска. При визуальных наблюдениях они составляют от $\pm 0^m,08$ до $\pm 0^m,20$ в зависимости от опыта наблюдателя. Осреднение многих наблюдений, если это возможно, уменьшает случайные ошибки, но нельзя думать, что таким путем можно добиться любой степени точности. Предел точности глазомерных относительных оценок составляет около $\pm 0^m,05$.

Большие неприятности доставляют систематические ошибки, которые могут незаметно исказить действительную картину явлений (см. § 17, гл. IV).

Запись времени и журнал наблюдений. Для быстроменяющихся звезд время записывается с точностью 0,1—0,5 *минуты*. Для долгопериодических и медленных неправильных переменных достаточна точность $0^d,1$—1^d, т. е. запись даты и часа наблюдений. Вспышки некоторых вспыхивающих переменных типа UV Кита происходят в течение нескольких секунд, в таких случаях время фиксируется на слух или по счету секунд от некоторого замеченного момента. Часы должны быть сверены с сигналами точного времени, передаваемыми по радио, и в мо-

менты наблюдений вносятся соответствующие поправки. Выраженные обычно в декретном времени моменты приводятся к всемирному времени. Наблюдатели переменных звезд пользуются непрерывным счетом суток по юлианскому календарю (см. § 6, гл. I). Часы, минуты и секунды переводятся по табл. 12 отдела «Таблицы» в доли суток.

Световое уравнение. При движении Земли вокруг Солнца наблюдатель оказывается то дальше от звезды, то ближе, если только звезда не находится в полюсе эклиптики. За счет этого свет, движущийся со скоростью около 300 000 км/с, достигает Земли то раньше, то позже, в зависимости от положения ее на орбите (различие достигает $\pm 8^m,306$). Моменты наблюдений должны быть исправлены за это движение согласно уравнению

$$\Delta t = -0^d,0058 \cdot R \cdot \cos(L_\odot - \lambda) \cos\beta,$$

где Δt — поправка для приведения момента к центру Солнца, R — радиус-вектор Земли, $L_\odot$ — долгота Солнца (соответствующая гелиоцентрической долготе Земли минус 180°), λ и β — эклиптические координаты (долгота и широта) звезды. Можно пользоваться номограммой, составленной М. С. Зверевым и опубликованной в книге Б. В. Кукаркина и П. П. Паренаго «Переменные звезды и способы их наблюдения».

Полученные моменты носят название приведенных к Солнцу и обозначаются значком ⊙ (например, $JD_\odot$).

Когда в течение ночи наблюдается несколько переменных звезд, во избежание хаотичности в записях лучше всего производить запись на отдельных листках для каждой переменной. На них можно наклеить карточки окрестностей и вести запись колонками, отмечая в них номер по порядку, момент наблюдения, оценку блеска, состояние атмосферы и наблюдателя. Записи должны производиться аккуратно, четким почерком, чтобы избежать ошибок при расшифровке. Окончательную обработку производят в отдельной тетради, где в колонках выписываются юлианские дни и вычисленный по оценкам блеск переменной. Все записи рекомендуется вести на одной стороне листа, так как при обработке часто приходится проводить дополнительные вычисления. Во всех случаях следует предпочитать хронологический порядок ведения записей.

Обработка наблюдений. Определение звездных величин переменной звезды. В интерполяционных способах оценок блеска звездная величина переменной легко определяется интерполяцией между звездными величинами звезд сравнения. Можно пользоваться при этом интерполяционными формулами (см. § 1, гл. VI) и таблицами или простым графическим приемом.

Во многих случаях, особенно при использовании способа Аргеландера и Нейланда—Блажко, необходимо связать блеск звезд сравнения единой зависимостью — степенно́й шкалой, и сопоста-

вить степенную шкалу со шкалой звездных величин. Это даст возможность исправить значения звездных величин звезд сравнения, если они были определены неточно, а также учесть индивидуальные особенности восприятия блеска данным наблюдателем, ибо каждый наблюдатель по-своему оценивает соотношение блеска, особенно если звезды различаются немного по цвету.

Прежде всего, определяют средние разности в степенях между звездами сравнения, например $b - a = 5^s{,}56$, $c - b = 3^s{,}25$, $d - c = 2^s{,}00$ и т. д. (в порядке убывания блеска). В способе Аргеландера оценки таких разностей производятся специально, в способе Нейланда—Блажко можно использовать и оценки с переменной, например, из оценки $b2v5c$ получаем $c - b = 7^s{,}0$ и берем среднее из всех таких наблюдений. Теперь строим степенную шкалу. Принимая для наиболее яркой звезды значение $a = 0^s{,}00$, получаем для звезды $b = a + (b - a) = 0^s{,}00 + 5^s{,}56 = 5^s{,}56$, для $c = a + (b - a) + (c - b) = 0^s{,}00 + 5^s{,}56 + 3^s{,}25 = 8^s{,}81$ и т. д. Полученные выражения блеска звезд сравнения в степенях вполне соответствуют (при аккуратных наблюдениях) звездным величинам, в чем легко убедиться, построив графическую зависимость между степенями и звездными величинами (рис. 168). Обычно точки на графике располагаются около прямой линии, если величина степени постоянна на всем интервале звездных величин. Отклонения точек от прямой линии характеризуют ошибки наблюдений. Иногда величина степени зависит от звездной величины, что приводит к изгибанию прямой на графике. Тогда проводят плавную кривую линию так, чтобы она по возможности прошла вблизи всех точек. Сумма уклонений точек от этой кривой должна равняться нулю по обеим координатам. При помощи графика звездные величины звезд сравнения приводятся к степенной шкале наблюдателя. Для этого из точек на прямую опускают перпендикуляры, как показано на рисунке, и с горизонтальной оси (оси звездных величин) снимают исправленные значения звездных величин звезд сравнения. С этими значениями можно переходить к вычислению звездной величины переменной. Интерполяцию можно производить с помощью этого же графика, проведя вертикальные прямые и пользуясь интерполяционной линейкой (см. рис. 168).

Если звездные величины звезд сравнения неизвестны и их нельзя определить привязкой к стандарту, то блеск звезд сравненения и переменной звезды выражается в степенной шкале, которая строится так же, как в указанном примере.

П о с т р о е н и е к р и в о й б л е с к а. Теперь мы имеем моменты наблюдений и блеск переменной звезды, выраженный в звездных величинах или степенях, — все, что нужно, чтобы определить зависимость изменения блеска от времени. Отложим по горизонтальной оси время, по вертикальной — звездные величины или степени. Масштаб графика должен соответствовать скорости процессов. Для медленно меняющихся переменных

звезд, например, достаточно располагать 100 дней на 5 см, для быстрых переменных нужно иметь возможность отмечать на графике десятые или даже сотые доли суток. Масштаб по другой оси должен выбираться так, чтобы чертеж не получался слишком сжатым или вытянутым. Нанеся на график все наблюдения,

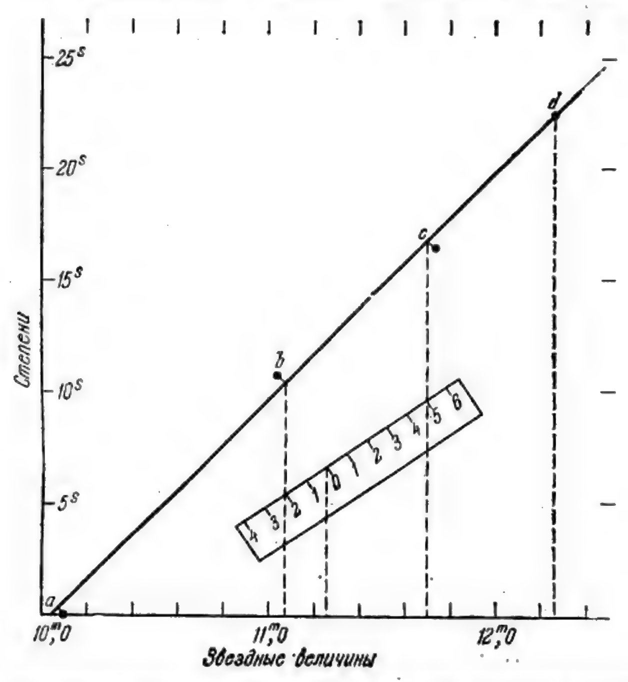


Рис. 168. Зависимость между степенной шкалой и шкалой звездных величин. Исходные звездные величины и степени звезд сравнения: $a = 10^m,08$ ($0^s,00$); $b = 11^m,04$ ($10^s,60$); $c = 11^m,74$ ($16^s,70$); $d = 12^m,25$ ($22^s,40$). Исправленные значения звездных величин: $a = 10^m,06$; $b = 11^m,08$; $c = 11^m,68$; $d = 12^m,25$. На рисунке с помощью линейки с делениями производится интерполяция $b2v5c$. Соответствующая звездная величина переменной звезды $v = 11^m,26$.

мы получаем, таким образом, картину изменения блеска переменной звезды. Дальнейшая обработка наблюдений зависит от типа переменности.

Неправильные и полуправильные переменные. Переменные этих типов показывают нерегулярные колебания блеска. Кривая блеска, нанесенная на график, вполне характеризует эти переменные. Если наблюдений много, можно попытаться подметить какие-либо закономерности в ходе изменений блеска, например частоту повторяемости длины циклов, которые считаются от максимума до максимума или от минимума до минимума. Некоторые полуправильные переменные показывают двойные волны, так что в полный цикл изменений входят два максимума и два минимума. Иногда можно обнаружить, что сред-

ний блеск (исключая более мелкие колебания и волны) изменяется в более длинном цикле. Часто несколько таких колебаний накладываются друг на друга.

Выявить конкретные закономерности изменения блеска неправильных и полуправильных переменных звезд очень важно, но для этого нужны продолжительные наблюдения, охватывающие годы и десятилетия. Нужно иметь в виду, что переменные этих типов, как правило, принадлежат к поздним спектральным классам и имеют красный и желтый цвета, что создает большие систематические ошибки в оценках блеска, зависящие от инструмента и наблюдателя. Нужно вести наблюдения с одинаковыми по цвету звездами сравнения, при достаточной высоте звезды над горизонтом и по возможности с одним и тем же инструментом. При переходе на другой инструмент нужно некоторое время вести параллельные оценки на двух инструментах, чтобы можно было создать сравнимый ряд наблюдений, учтя систематическую разницу. Большое значение имеют коллективные оценки одной и той же звезды, что в значительной степени позволяет освободиться от личных систематических ошибок наблюдателей. Сказанное относится, разумеется, ко всем звездам, но при наблюдении полуправильных и неправильных звезд систематические ошибки особенно опасны.

П е р е м е н н ы е з в е з д ы т и п а М и р ы К и т а. Изменения блеска этих звезд носят почти периодический характер. Однако кривые блеска их могут довольно сильно изменяться от периода к периоду. Величина периода тоже подвержена случайным колебаниям, а иногда изменяется систематически. Особенностью этих переменных являются значительные амплитуды колебаний блеска, так что в минимумах наблюдения без крупных инструментов производить трудно. Так, блеск самой о Кита (Миры) колеблется в пределах от 2^m до 10^m. Если не ставить целью исследование формы кривых блеска, достаточно наблюдать такие звезды вблизи максимума, когда они становятся видны в наш инструмент. После нанесения на график определяются момент максимума и максимальный блеск. Чтобы не следить за звездой все время, момент наступления максимума предвычисляется по формуле

$$M_t = M_0 + P \cdot E,$$

где M_0 — момент начального максимума, P — период, E — некоторое целое число, которое подбирается так, чтобы получить момент M_t, когда звезда может наблюдаться на небе. Периоды звезд типа Миры Кита бывают от 120 до 1000 дней, отклонения от предвычисленных максимумов достигают иногда значительных величин. Поэтому наблюдения следует начинать за месяц-два до предвычисленного момента, если позволяют условия. Сначала наблюдают редко, а вблизи максимума наблюдения проводятся два-три раза в ночь. Если при этом обнаруживается все же силь-

ный разброс отдельных значений на кривой блеска, близкие по времени точки осредняют, что увеличивает точность.

Способ Погсона для определения моментов экстремумов. Момент экстремума (максимума или минимума) можно определить на графике кривой блеска следующим приемом. Вблизи экстремума в выпуклой части кривой блеска (рис. 169) проводится несколько хорд параллельно оси времени. Хорды делятся на две равные части и через точки деления проводится плавная кривая до пересечения с кривой блеска. Момент, соответствующий точке пересечения, снятый с оси времени, и будет моментом экстремума. Способ Погсона применим для определения моментов максимумов звезд типа Миры Кита, цефеид, полуправильных переменных и минимумов затменных переменных.

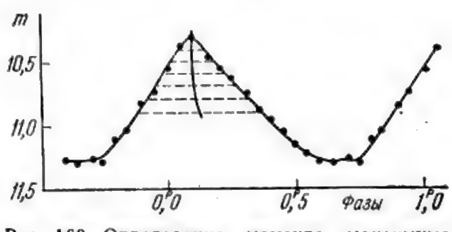


Рис. 169. Определение момента максимума цефеиды способом Погсона.

График $O-C$. Для изучения поведения периода строят график уклонений наблюденных моментов M от предвычисленных по формуле на с. 428. Для сравнения нужно брать точки с одинаковой фазой (обычно максимумы физических переменных или минимумы затменных). Ход зависимости $O-C$ от времени (JD) или числа протекших периодов (E) определяется следующими причинами:

1) Неточность принятого значения периода. Тогда график имеет вид наклонной прямой. Если $O-C$ возрастает со временем (при увеличении E), то период следует увеличить на величину $(O-C)/E$, если уменьшается, то период слишком велик и его нужно уменьшить. График можно представить в виде прямой $O-C=a+b\cdot E$. Вычисляя коэффициенты a, b способом наименьших квадратов, получают поправку начального момента и поправку к периоду b. В зависимости от знака b нужно увеличить или уменьшить значение периода.

2) Изменение периода. Если период изменяется, то график $O-C$ не является прямолинейным. Это может быть либо парабола, если период прогрессивно растет или уменьшается (тогда график представляется уравнением вида $O-C=a+b\cdot E+c\cdot E^2$, или синусоида: $O-C=a+b\cdot t+\sin(\omega t+\varphi)$, или, наконец, ломаная линия, если период меняется скачкообразно. Иногда изменение периода не удается представить формулой. Тогда график $O-C$ дает наглядное представление об изменении периода со временем (рис. 170).

Построение средней кривой. Кривая блеска периодической переменной может быть представлена в виде графика в пределах одного периода, так как параллельный перенос всей кривой блеска на целое число периодов приводит к совмеще-

нию кривой блеска с самой собой. Процесс сведения всех наблюдений к одному периоду облегчается вычислением фаз. Зафиксируем исходный момент, соответствующий максимуму, минимуму или произвольной точке на кривой блеска. Тогда по формуле

$$M_{t0} = M_0 + P \cdot E,$$

где P — период и E — целое число, можно предвычислить другие моменты M_{t0}, когда значение блеска будет таким же, как и в исходный момент (и с тем же знаком изменения, например, всегда на восходящей ветви). При помощи калькулятора легко вычислить фазы, выраженные в долях периода. Разделим разность между моментом наблюдения и исходным моментом $M_t - M_0$ на период *). Частное будет состоять из целого числа — E — количества протекших целых периодов и некоторой дроби, представляющей остаток от деления, разделенный на период. Последняя величина и будет фазой (Ф),

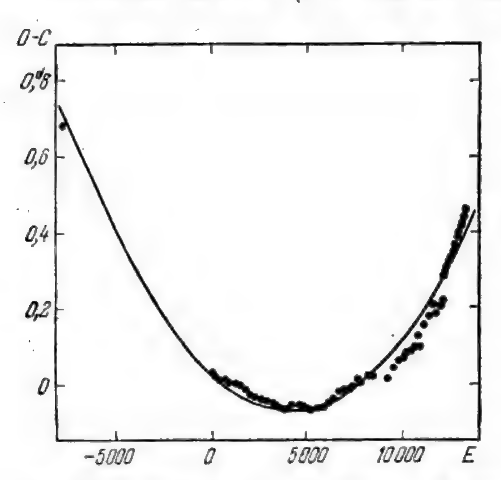


Рис. 170. График (O—C, E), показывающий изменение периода затменной переменной звезды U Цефея. Изменения O—C представляются параболой, что свидетельствует о прогрессивном увеличении периода. Возможны также небольшие скачки и колебания в длине периода на фоне общего увеличения его длины.

$$\frac{1}{P}(M_t - M_0) = E + \Phi.$$

Легко сообразить, что Ф будет изменяться от 0 до 1 (ибо мы всегда выделяем целое число) и однозначно соответствовать каждой точке на периодической кривой.

Теперь мы можем нанести все наблюдения на график в пределах одного периода. Фазы откладываются по горизонтальной оси, звездные величины или степени — по вертикальной. Весь график будет заключен между фазами от $0^P,000$ до $1^P,000$ (в долях периода) или от $0^d,000$ до P^d (в днях), однако график можно продолжить, прибавив ко всем фазам $1^P,000$ или величину P^d, если фазы выражены в днях. От этой операции все точки сдвинутся на один период, и мы сможем обозревать места стыков (рис. 171).

Из-за ошибок наблюдений кривая блеска, сведенная к одному периоду, не будет представляться непрерывной линией, а будет наблюдаться некоторое рассеяние точек. Если наблюдений много,

*) Деление на P можно заменить умножением на $1/P$.

можно объединить близкие по фазам точки, вычислив средние фазы и блеск из нескольких близких значений (группы берутся по 5, 10 и 20 точек в зависимости от числа наблюдений). Вблизи минимумов затменных или на крутых восходящих ветвях цефеид наблюдений оказывается меньше. При группировке следует объединять точки в порядке возрастания фаз, независимо от их положения относительно кривой блеска. Некоторые точки, сильно уклоняющиеся от общего хода кривой, можно выбросить из обработки (но не больше 1% всего числа наблюдений). Полученные

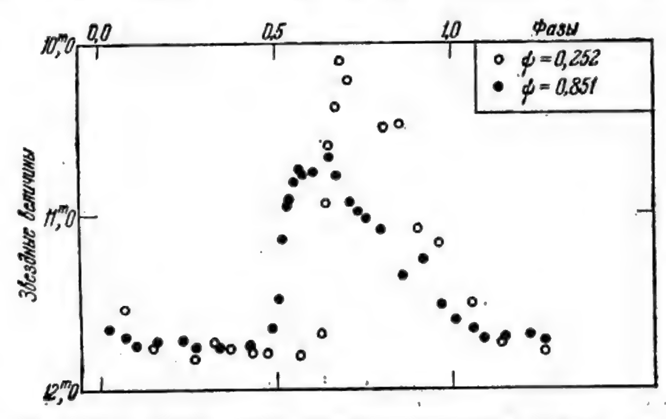


Рис. 171. Две средние кривые блеска короткопериодической цефеиды RV Козерога, показывающие изменения формы в зависимости от фазы вторичного колебания φ (эффект Блажко). График построен по наблюдениям В. П. Цесевича.

осредненные точки наносят на отдельный график, получая, таким образом, *среднюю кривую блеска*.

Прежде чем строить среднюю кривую блеска, нужно исправить значение периода. Если период изменяется, следует представить изменения формулой и учесть влияние этих изменений при вычислении фаз. Если такие вычисления провести затруднительно, то кривые блеска строятся для небольших интервалов наблюдений, например, для каждого сезона отдельно.

З а т м е н н ы е п е р е м е н н ы е з в е з д ы. При наблюдениях затменных переменных особенно важно изучить изменение блеска в минимуме и определить момент наибольшего ослабления блеска (*середину затмения*). По формуле на с. 428 предвычисляют все минимумы, какие могут наблюдаться ночью в пункте наблюдения. Вблизи минимума и в самом минимуме наблюдения ведутся с интервалом от нескольких минут до часа, в зависимости от длины периода. Для определения индивидуального момента минимума пользуются способом Погсона. С графика (обычно средней кривой, объединяющей несколько минимумов) снимаются значения продолжительности всего затмения D (от момента первого ослабления блеска до восстановления нормального блеска)

и продолжительность полного затмения d (если в минимуме происходит остановка в изменении блеска). Если период не подвержен быстрым изменениям, то допустимо осреднение минимумов по наблюдениям, произведенным в течение одного сезона (например, за месяц или год). Такие, приведенные к одному и осредненные, минимумы называются *нормальными*. Они имеют несколько бо́льшую точность, если период можно считать неизменным в интервале осреднения.

Если имеется достаточно глубокий вторичный минимум, возникающий от затмения второй из двух звезд, находящихся в системе, его также следует наблюдать. Наблюдения всей кривой блеска рекомендуется производить опытным наблюдателям для выяснения тонких эффектов в кривых блеска (*эффект эллиптичности*, *отражения* и др.). Изучение графиков $O—C$ представляет большой интерес, так как часто период подвержен случайным или систематическим изменениям, связанным с движениями тел или газовых масс в системе. Таким путем иногда обнаруживается существование в системе третьего тела.

Цефеиды. Методы наблюдений и обработки короткопериодических ($P < 1^d$) и долгопериодических ($P > 1^d$) цефеид существенно не различаются. Для короткопериодических цефеид требуются более частые наблюдения, особенно вблизи максимумов, и учет светового уравнения. Цель наблюдений — получить моменты индивидуальных максимумов, вывести из них нормальные максимумы (средние за сезон), построить среднюю кривую блеска для каждого сезона. Объединение продолжительных рядов наблюдений допустимо только при значительной стабильности периода и кривой блеска, что часто не является установленным. Долгопериодические цефеиды часто обнаруживают скачкообразные изменения периодов. Сопоставление результатов разных наблюдателей за продолжительные сроки дает возможность выявить такие изменения по графикам $O—C$. Короткопериодические цефеиды иногда показывают вторичные, обычно периодические колебания формы кривой блеска, сопровождающиеся периодическими колебаниями значения периода (*эффект Блажко*). Эти явления мало изучены и наблюдения таких цефеид представляют большую ценность. Вместе с тем они довольно трудны, так как изменения обычно незначительны. Ставить такие звезды в программу наблюдений имеет смысл только после приобретения опыта в оценках.

Вспыхивающие звезды, звезды типа U Близнецов, новые звезды. Звезды первых двух типов весьма слабы по блеску и доступны лишь любителю, вооруженному телескопом в 8—12 см. Новые звезды иногда могут наблюдаться простым глазом, но обычно они быстро ослабевают и становятся недоступными даже при наблюдениях в крупные инструменты. Об открытии ярких новых звезд обычно сообщается по радио и в газетах. Во всем интервале видимости за ними сле-

дует вести регулярные наблюдения по нескольку раз в ночь, так как блеск новых звезд подвержен неожиданным вторичным вспышкам или неправильным колебаниям в процессе угасания звезды. Вспышки новых звезд происходят в течение нескольких дней, и вследствие неожиданности возрастание их блеска часто не наблюдается астрономами. Наблюдения во время возрастания блеска поэтому особенно ценны. Если яркая новая звезда замечена до получения сообщения об ее открытии, необходимо срочно послать телеграмму по адресу: Москва, В-234, ГАИШ, Бюро астрономических сообщений и начать ее систематические наблюдения. Многие яркие новые звезды были открыты и наблюдались любителями астрономии до максимума блеска, чем была оказана значительная услуга науке.

Вспышки звезд типа U Близнецов и типа UV Кита (вспыхивающих звезд) происходят циклически, с некоторым средним интервалом времени между вспышками. Однако предсказать момент вспышки невозможно, поэтому за такими звездами следует вести непрерывные наблюдения. Особенно интересны звезды типа UV Кита, вспышки которых протекают иногда в течение нескольких секунд или минут, со скоростью до $0^m,25$ за секунду. Амплитуда вспышки обычно достигает нескольких звездных величин, так что звезда легко может быть пронаблюдена вблизи максимума, даже если в минимуме она находилась за пределом видимости в данный инструмент. Наблюдения во время вспышки следует вести, не отрываясь от телескопа, фиксируя время на слух или по счету с точностью до секунды. Ход и поправка часов должны быть известны и моменты соответствующим образом исправлены.

Фотографические наблюдения переменных звезд. При помощи почти любого фотоаппарата или фотографического объектива и простой экваториальной установки можно вести фотографические наблюдения переменных звезд. Фотографические наблюдения более экономны, так как на одной фотопластинке сразу фиксируются все звезды определенного участка неба. Если имеется серия фотографий в количестве 100—200 штук для одного участка неба, то можно получить надежные кривые блеска всех переменных звезд, полученных на фотопластинке. Вновь открываемые переменные звезды могут быть исследованы через несколько лет после их фотографирования. Фотопластинка является документом, фиксирующим блеск звезд для многих поколений.

Предельная звездная величина звезд, которые выходят на фотопластинке в течение принятой экспозиции, зависит в основном от диаметра объектива фотографической камеры. В нижеследующей таблице приведены данные о предельной звездной величине при выдержке 30 минут и пластинках 40—50 ГОСТ для наиболее распространенных и доступных любителю объективов.

Объектив	Диаметр, мм	Фокусное расстояние, мм	Относительное отверстие	$m_{пред}$
Индустар-17	100	500	1 : 5	$12^m,2$
Индустар-13	67	300	1 : 4,5	11,3
Индустар-51	47	210	1 : 4,5	10,6
Индустар-22	15	50	1 : 3,3	8,1

Для фотографирования звезд можно использовать также старые портретные объективы, которые обладают большими отверстием и светосилой и хорошими изображениями на площади с радиусом 5—10°. Имея хороший объектив, можно легко изготовить примитивную фотографическую камеру и установить ее на экваториальной установке.

Фокусировку фотокамер лучше производить движением объектива в кольце с винтовой нарезкой, а не движением кассетной части, которая должна быть жестко связана с камерой. Степень выдвижения объектива в кольце фиксируется при помощи отметок целых оборотов и их долей, причем целые обороты наносятся на шкале, связанной с объективом, а доли оборотов можно отсчитывать, разделив окружность кольца на десять равных долей и установив указатель на подвижной части объектива. Если камера сделана достаточно жестко, фокусировка сохраняется длительное время и только при изменении температуры фокус иногда приходится изменять (особенно для длиннофокусных инструментов и рефлекторов). Требуется регулярная проверка четкости изображений на фотографиях, которая в значительной степени зависит от фокусировки. При фотографировании лучше всего пользоваться выдержками в 20—30 минут. При меньших выдержках недостаточно используется мощность камеры, а при больших — исследование быстро меняющихся звезд становится затруднительным. Вспыхивающие звезды фотографически исследовать с маломощными инструментами не рекомендуется.

Яркие переменные звезды и новые вблизи максимума блеска можно фотографировать в течение нескольких минут при неподвижной установке. На фотографии тогда будут видны следы от ярких звезд, что позволит сравнивать блеск звезд на протяжении всей экспозиции. Однако чтобы получить изображения наиболее слабых звезд, доступных при имеющемся объективе, необходимо во время экспозиции гидировать инструмент по какой-либо достаточно яркой звезде. Для этого камера должна быть снабжена ведущей визуальной трубой с фокусным расстоянием, не меньшим фокусного расстояния фотографического объектива. Необходим также экваториальный штатив. Микрометрические винты для движения по часовому кругу должны обеспечивать равномерное движение инструмента с фотокамерой в течение экспозиции. В поле

зрения в фокусе окуляра гидирующей трубы располагается крест нитей. Ведущая звезда должна в течение экспозиции находиться строго на пересечении нитей. Если увеличение гида значительно и фон неба слаб, нити становятся невидимыми. Тогда применяют подсветку нитей или поля зрения.

Большое значение имеет устройство для движения инструмента параллельно суточному движению звезд. Если нет часового механизма, то можно воспользоваться устройством, сконструированным И. Д. Новиковым (см. § 13, гл. IV).

При наличии часового механизма его нужно наладить и отрегулировать, проверяя по движению ведущей звезды той области, которая предполагается для фотографирования. Часовой механизм ни в какой мере не освобождает наблюдателя от гидирования, так как всегда в движении случаются небольшие неправильности, которые могут вывести инструмент из правильного положения. Но часовой механизм в значительной степени облегчает гидирование и улучшает качество изображений.

В качестве фотоматериала для фотографирования звезд следует применять несенсибилизированные пленки или фотопластинки высшей чувствительности одного и того же сорта. Можно пользоваться и высокочувствительными панхроматическими фотоматериалами, однако нужно иметь в виду, что существующие системы фотографических звездных величин рассчитаны на несенсибилизированные материалы. Для получения так называемых фотовизуальных звездных величин фотографирование ведется на ортохроматических материалах с желтым фильтром. В этом случае система звездных величин оказывается близкой к визуальной системе, т. е. соотношения в блеске между звездами разной окраски таковы, как и при наблюдениях глазом. При переходе к эмульсии другого сорта следует вести несколько ночей параллельное фотографирование на пластинках двух сортов, чтобы иметь возможность определить систематическую разность в блеске звезд.

Проявление производится в мягких (неконтрастных) медленно действующих проявителях. Следует пользоваться одним и тем же рецептом и следить, чтобы проявитель всегда был свежий.

В журнале наблюдений отмечается время начала и конца экспозиции, сорт и размер пластинок, условия наблюдения и гидирования. Момент наблюдения относится к середине экспозиции.

Определение блеска звезд на фотографиях производится теми же способами, как и при визуальных оценках. Следует предпочесть способ Нейланда—Блажко. Изображения звезд рассматриваются в лупу с увеличением 4—6 раз. Для ярких звезд, которые находятся в области передержек, существует зависимость между блеском и диаметром изображения, тогда как для слабых, недодержанных, звезд градация почернений очень мала. В связи с этим величина степени может зависеть от звездной величины и при построении зависимости «степени — звездные величины» гра-

фик будет сильно отличаться от прямолинейного. Оценки на фотографиях обычно имеют меньшую точность (особенно для предельных звезд), чем при визуальных наблюдениях. Для изучения тонких эффектов следует предпочесть визуальные наблюдения. Точность фотографических наблюдений возрастает, если пользоваться методом цепочек, фотографируя на одной пластинке цепочку в 5—10 изображений звезд (путем последовательного сдвига кассеты или всего инструмента по склонению или прямому восхождению). При этом нужно следить, чтобы изображение переменной звезды не накладывалось на изображения других звезд. Так как весь ряд из 5—10 наблюдений производится на одной эмульсии, становится возможным осреднять несколько точек или корректировать ход изменения блеска. Способ эффективен только для ярких звезд, так как слабые звезды не допускают небольших выдержек, а длительные выдержки на одной пластинке приводят к образованию вуали от фона неба.

При изучении блеска звезд на фотографиях пользуются фотографическими звездными величинами звезд сравнения или стандартов (так как фотопластинка более чувствительна к синим лучам и нечувствительна к красным, в противоположность глазу). Определение блеска звезд сравнения можно производить впечатыванием на одну пластинку двух областей: исследуемой и стандартной (когда они могут фотографироваться в одну ночь друг за другом при одинаковых зенитных расстояниях).

Открытие переменных звезд. Если наблюдателю удалось осуществить хорошую гидирующую систему и получить изображения звезд хорошего качества, то можно попытаться искать новые переменные звезды. Хотя яркие переменные звезды до $10-12^m$ в значительном большинстве уже открыты, однако они открыты далеко не все и среди таких звезд особенно много звезд редких типов с такими особенностями, которые затрудняют их открытие. При фотографировании Млечного Пути всегда имеет смысл быстро просматривать фотопластинки с целью обнаружения новых звезд. Хотя случаи вспышек новых звезд редки, систематическое слежение за областями, где они часто появляются, особенно желательно (например, в областях, близких к направлению на галактический центр, — созвездия Стрельца, Стрелы, Щита, а также Лебедя, Ящерицы, Кассиопеи, Цефея). Рекомендуется следующий простой прием для открытий переменных звезд. Для исследуемой области получают несколько фотографий, разбросанных во времени, с выдержками более длительными, чем обычно (порядка часа), с тщательным гидированием и только при хороших атмосферных условиях. С этих фотографий на диапозитивных контрастных пластинках получают позитивные копии контрастным способом в параллельном пучке света (например, располагая фонарь на расстоянии 2—3 м от копировальной рамки с пластинками). Позитивы должны иметь полупрозрачный, серый фон, для чего пробами подбирается нужная выдержка. Прояв-

ление ведется в контрастном или нормальном проявителе. После просушки позитивы накладываются на обычные негативы той же области неба, относящиеся к другим моментам, и изображения звезд совмещаются. При рассматривании совмещенных изображений на свет при помощи лупы (хорошо изготовить для этого горизонтальный станок с молочным стеклом и с подсветкой электрической лампой) мы увидим звезды в виде черных точек, окруженных светлыми ореолами. На общем однообразном фоне таких изображений переменные звезды будут выделяться более светлыми ореолами или более темными, чем обычно, изображениями.

Наблюдения только тогда приобретают ценность для науки, если они сделаны аккуратно и с достаточной точностью, а также когда ими могут пользоваться другие астрономы.

Наблюдения переменных звезд, а также результаты наблюдений и исследований следует направлять по адресу: 117234, Москва, Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга, Отдел переменных звезд и Галактики.

Литература

1. Методы исследования переменных звезд. — М.: Наука, 1971.

2. Н а б о к о в М. Е. Астрономические наблюдения с биноклем. — М.: Гостехиздат, 1948.

2. Ц е с е в и ч В. П. Переменные звезды и их наблюдение. — М.: Наука.— 1980.

§ 9. Инструкция для наблюдений покрытий звезд Луной

Наблюдения покрытий звезд Луной дают ценный материал для решения ряда важных задач: определения радиуса Луны и ее фигуры, уточнения теории движения Луны, построения карт лунного рельефа, вывод поправок эфемеридного времени и др.

Наблюдения покрытий звезд Луной заключаются в фиксации точного момента исчезновения звезды за диском Луны. Эти наблюдения осложняются рядом обстоятельств, одним из которых являются неровности лунного края. Поэтому для получения точных моментов покрытий надо учитывать лунный рельеф. В настоящее время имеется несколько карт рельефа краевой зоны Луны, составленных во второй половине нашего столетия. Наиболее подходящими являются карты Уоттса и А. А. Нефедьева.

Для того чтобы вычислить поправки за неровности лунного края по картам Уоттса, необходимо знать топоцентрическую оптическую либрацию по долготе λ_0 и широте β_0 и позиционный угол P оси вращения Луны. Карты Нефедьева составлены в координатной системе, предложенной Гайном. Для получения высот по этим картам надо знать селенографические топоцентрические координаты P' и D *). Следует заметить, что изогипсы на этих

*) О получении этих координат см. [2]. Адрес для консультации указан на с. 443.

картах представляют сглаженный рельеф и поэтому снятые с них высоты не дают точных поправок за неровности лунного края. Для того, чтобы как-то снизить влияние рельефа на результаты наблюдений, необходимо организовать массовые наблюдения покрытий любителями астрономии, находящимися в различных пунктах страны.

Для приведения данных наблюдений к центру Земли надо знать географические координаты пункта наблюдений с точностью, строго говоря, не менее $6''$. Но при массовых наблюдениях можно удовлетвориться точностью до $1'$ по широте и 5—6^s по долготе.

При наблюдениях покрытий звезд различают два явления: *покрытие* и *открытие* звезды Луной. Открытия звезд наблюдать гораздо труднее, чем покрытия. Главная трудность состоит в том, что при наблюдении открытий наблюдатель не знает заранее, в каком именно месте диска появится звезда, так как перед появлением она закрыта Луной. Тем не менее наблюдать открытия звезд весьма желательно и необходимо. Дело в том, что если наблюдать только одни покрытия на темном крае, то мы будем изучать движение Луны лишь в одной половине ее орбиты, другая же останется неисследованной.

Наблюдения покрытий звезд Луной могут быть выполнены двумя методами: визуальным и фотоэлектрическим. Последний метод требует довольно сложной аппаратуры, большой точности регистрации моментов времени (до $0^s,001$) и, следовательно, хорошо налаженной службы времени, что огромному большинству любителей недоступно. Поэтому описывать и рекомендовать любителям фотоэлектрический метод нецелесообразно.

Обычные покрытия звезд. Эфемериды покрытий. Для успешного наблюдения покрытий следует иметь их эфемериды, т. е. таблицы со сведениями о предстоящих покрытиях. Эфемериды покрытий для нескольких городов СССР публикуются в Астрономическом Календаре — ежегоднике ВАГО. Кроме того, отделениям ВАГО и обсерваториям Советского Союза высылаются отдельные эфемериды, которые включают расширенный список покрываемых звезд.

Инструменты. Для наблюдений покрытий можно использовать любые оптические инструменты, от бинокля до телескопа. Увеличение телескопа следует выбирать в соответствии с наблюдаемым явлением. При наблюдениях покрытий можно брать большие увеличения, доходящие до $2d$, где d — диаметр объектива телескопа в миллиметрах. При наблюдении открытий приходится применять меньшее увеличение с тем, чтобы можно было видеть значительную часть лунного края, из-за которого должна появиться звезда. В противном случае она может появиться вне поля зрения и наблюдатель вообще не увидит звезды. Вредное влияние лунного света можно ослабить подбором диафрагм, накладываемых на объектив или установкой в фокусе объектива заслонки, экранирующей свет Луны. В последнем случае можно наблюдать покрытия и более слабых звезд.

При наблюдениях открытий важно знать место появления звезды из-за лунного края. Позиционный угол открытия известен из эфемериды, поэтому необходимо применить устройство, позволяющее «отметить» на диске Луны позиционный угол открытия. Такое устройство можно изготовить самостоятельно. Заметим, что его можно заменить окулярным микрометром.

Регистрация времени. Главное, к чему должен стремиться наблюдатель— это как можно точнее отметить моменты покрытия и открытия звезды. На эту точность основное влияние оказывает реакция наблюдателя, которая учитывается посредством *личного уравнения* (*личной разности*). Величина личного уравнения τ у разных наблюдателей различна и, чтобы ее учитывать, необходимо экспериментальное исследование. Следует заметить, что величины τ при покрытии и открытии будут несколько различаться; они даже зависят от освещенности лунного края, на котором происходит явление. Однако такие тонкости в определении τ доступны не всем наблюдателям и поэтому будет достаточно знания хотя бы одного значения τ, например, для покрытий темным краем, которые наблюдаются чаще всего.

Если учесть, что Луна перемещается на фоне звезд на $0'',1$ в течение 0,2 секунды времени, то при регистрации времени надо стремиться к достижению точности в 0,1 секунды. Экспериментальные оценки τ показывают, что точность визуальных наблюдений покрытий составляет $0,1—0^s,2$. Исходя из этого, желательно выбирать приборы для регистрации моментов времени, обеспечивающие точность в $0^s,1$. Это могут быть секундомеры, хронометры, хронографы. Наблюдатель должен быть знаком с системами счета времени и его измерением по крайней мере в таком объеме, чтобы быть в состоянии определить момент покрытия по всемирному времени. Поправка часов (под часами понимается прибор, используемый для регистрации времени) определяется либо из приема сигналов точного времени, передаваемых по радио (см. § 5, гл. II), либо из сравнения с другими часами, поправка которых известна. Чаще используется первый метод. По возможности нужно стремиться определять поправку как до, так и после наблюдений; тогда моменты явлений будут получены более уверенно.

Подготовка результатов наблюдений к публикации. Отчет о результатах наблюдений покрытий оформляется в виде таблицы:

Дата U. T.	Звезда Z. C.	Зв. вел.	Телескоп, $\Gamma_{увел}$	Наблюдатель	Явление	Оценка	Примечание	Регистрация времени	Личное уравнение
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Заголовки таблицы означают:

1. Указываются последовательно год, месяц, число и момент по всемирному времени (U.T.) с точностью до долей секунд.

2. Если наблюдаемая звезда имеется в эфемериде, то становится номер звезды по зодиакальному каталогу (Z. C.). Если звезда отсутствует в эфемериде и она наблюдалась, то приводится ее номер по любому каталогу с обязательным полным его названием.

3. Указывается звездная величина, данная в эфемериде.

4. Ставится шифр телескопа и примененное увеличение.

5. Дается шифр фамилии наблюдателя. Например, ИС — Иван Сидоров.

6. Наблюдавшееся явление отмечается двумя буквами: ПТ — покрытие темным краем Луны; ОТ — открытие темным краем; ПС — покрытие светлым краем; ОС — открытие светлым краем.

7. Сообщается субъективная оценка точности отсчета момента времени по пятибалльной шкале:

5 — точность до 0,1—0,2 *секунды*,
4 — » до 0,5 *секунды*,
3 — » до 1 *секунды*,
2 — » небольшая, возможно, до 1 *секунды*,
1 — » неаккуратное, грубое наблюдение.

8. Примечание о характере исчезновения звезды, об условиях наблюдений.

9. Регистрация времени: ГУ — метод «глаз—ухо», ГК — метод «глаз—клавиша».

10. Указывается личное уравнение наблюдателя.

Если информация, помещенная в графах схемы 4, 5, 9, 10 не меняется от строки к строке, то ее можно поместить отдельно от схемы.

Кроме этого, в отчете указываются название места наблюдения, его географические координаты и высота над уровнем моря (координаты даются с той точностью, с которой они известны, и непременно сообщается их источник), наименование учреждения, фамилии и инициалы наблюдателей, методы регистрации времени и определения поправок часов, учет личных уравнений наблюдателей в регистрации моментов наблюдений (помещенных в первой графе отчета), фамилия, имя и отчество лица, составлявшего отчет, адрес для писем и адрес для телеграмм.

Желательно описать в отчете характеристики инструментов (рефлектор, рефрактор, диаметр, фокусное расстояние) и методику определения личных уравнений наблюдателей. В случае необходимости надо поместить замечания, относящиеся к оформлению отчета.

Отчеты о результатах наблюдений покрытий звезд составляются в трех экземплярах и высылаются два раза в год, к 15 июля и к 15 января, по адресу: 252053, Киев 53, Обсерваторная ул., 3,

Астрономическая обсерватория Киевского государственного университета.

По этому же адресу следует направлять все вопросы по наблюдениям и эфемеридам покрытий.

Касательные, или царапающие покрытия звезд. Касательные покрытия звезд привлекли к себе внимание сравнительно недавно, но уже дали очень ценные результаты.

Касательное покрытие выглядит следующим образом. Звезда медленно приближается к краю Луны по касательной линии и в некоторый момент времени неожиданно и почти мгновенно исчезает за краем лунного диска, но через несколько секунд вновь появляется чуть дальше по ходу движения. Через несколько мгновений звезда опять внезапно исчезает за неровностями лунной поверхности и также внезапно снова появляется. Все явление касательного покрытия длится не более 2—3 минут.

Касательные покрытия можно наблюдать лишь в довольно узкой полосе земной поверхности, шириной около 4—5 км, проходящей вдоль границы покрытия, т. е. той линии, за которой покрытие уже не происходит. Поэтому, как правило, для наблюдений касательных покрытий группе наблюдателей приходится выезжать в район видимости явлений и там проводить совместные наблюдения в любые оптические инструменты: школьные и самодельные телескопы, зрительные трубы, теодолиты и др.

Эфемерида касательных покрытий. Эфемерида касательного покрытия содержит список координат точек границы покрытия и позиционных углов касания, моменты касания по всемирному времени, высоту Луны над горизонтом, звездную величину звезды и наименование лунного края, на котором будет происходить касание. Эти данные необходимы для того, чтобы наблюдатели могли заранее оценить возможности наблюдений.

Расположение наблюдателей. Во время наблюдений касательного покрытия наблюдатели должны находиться на линии, перпендикулярной к границе покрытия, причем половина наблюдателей находится по одну сторону границы, а остальные — по другую. Максимальное удаление от границы не должно превосходить 1,5—2,0 км. Наблюдатели располагаются по возможности на равных расстояниях, зависящих от их числа. Точность наблюдений повышается при большем числе наблюдателей. Однако даже наблюдения, проведенные одним наблюдателем, представляют несомненный научный интерес.

Регистрация моментов времени. Точность регистрации моментов времени, к которой надо стремиться, составляет $0^s,1$. Однако при касательных покрытиях это требование менее важно и достаточна точность в 2—3 секунды. Более того, будут иметь ценность даже такие наблюдения, при которых моменты времени не фиксируются, а отмечается число исчезновений и появлений звезды, а также их характер (медленное или мгновенное исчезновение и появление).

Можно указать следующие способы регистрации времени.

Первый способ — регистрация времени по часам. Он особенно удобен при наличии помощника наблюдателя. Наблюдатель называет явление (покрытие, открытие), не отрываясь от окуляра, а помощник в этот момент фиксирует и записывает показание часов, поправка которых должна быть известна. При двух помощниках наблюдатель называет явление, первый помощник в этот момент замечает и объявляет показание часов, а второй записывает показание в журнал наблюдений.

Второй способ. Если в распоряжении наблюдателей имеется два секундомера, то в момент первого исчезновения звезды пускают в ход один секундомер. При появлении звезды одновременно нажимают кнопки обоих секундомеров, останавливая тем самым первый и запуская второй. Сразу же записывают показания первого секундомера. В момент повторного исчезновения звезды снова нажимают кнопку обоих секундомеров, останавливая второй и запуская первый. Теперь показания снимаются со второго секундомера. Эти операции повторяются последовательно до последнего явления открытия звезды. Запущенный в этот момент секундомер не останавливают до приема сигналов точного времени по радио, по которым проводится привязка моментов наблюдений.

Третий способ. Наблюдатель, знакомый с технической фотографией, может воспользоваться довольно простым приемом: в моменты покрытия и открытия звезды фотографируется циферблат часов (лучше всего хронометра), а затем в спокойной обстановке на проявленной пленке снимают их показания. Для этой цели удобнее всего использовать фотоаппараты с автоматической перемоткой пленки («Ленинград», «Зенит-5» и др.).

Четвертый способ. В этом способе используются магнитофон и хронометр. Микрофон помещают так, чтобы на пленку отчетливо записывались удары хронометра и голос наблюдателя. Можно использовать два микрофона — один для наблюдателя, другой для хронометра. В момент явления наблюдатель резко и отрывисто произносит в микрофон какое-либо слово или отдельный слог. Затем записанные на пленку звуки голоса и ударов хронометра воспроизводят и определяют время явлений. Привязку можно осуществить, предварительно произнеся в микрофон название минуты и секунды определенного удара хронометра.

Пятый способ. В основу этого способа положен принцип пишущего хронографа. В этом случае все наблюдательные пункты соединяются с одним центральным пунктом проводами и наблюдения ведутся способом «глаз—клавиша». На центральном наблюдательном пункте имеется прибор, аналогичный пишущему хронографу, с числом перьев, равным числу наблюдателей, увеличенному на единицу. Одно перо используется для записи сигналов времени. Питание хронографа подается от аккумулятора (например, автомашины). В момент явления наблюдатель специальной

клавишей замыкает контакт в электрической цепи хронографа и соответствующее перо отмечает момент явления на движущейся ленте. Этот способ более сложен в техническом отношении, но гораздо эффективнее.

Описанные способы — это лишь некоторые из возможных для регистрации моментов времени касательных покрытий. Поэтому наблюдателям представляется полная свобода для творчества и создания более простых, удобных и эффективных способов регистрации моментов времени.

Подготовка результатов наблюдений к публикации. Отчет о наблюдениях касательных покрытий должен содержать всю ту информацию, которая была указана в разделе для обычных покрытий звезд, с той лишь разницей, что здесь для одной и той же звезды будет несколько наблюдательных пунктов и несколько моментов покрытий и открытий на каждом пункте. Необходимо сделать следующие дополнительные замечания. Координаты наблюдательных пунктов должны быть известны с точностью до секунды дуги по широте и долготе и по крайней мере до 15 м по высоте над уровнем моря. Эти координаты удобно получить, пользуясь картой масштаба 1 : 25 000 или 1 : 50 000. Необходимо указывать также характер исчезновения или появления звезды: мерцание, медленное угасание, скачкообразное изменение блеска, моментальное покрытие и т. д. Наблюдатель должен сообщать любую относящуюся к делу информацию.

Отчеты о наблюдениях касательных покрытий следует составлять по возможности в более краткие сроки и направлять по адресу: 252053, Киев 53, Обсерваторная ул., 3, Астрономическая обсерватория Киевского государственного университета, А. К. Осипову. По этому же адресу можно проконсультироваться по любым вопросам, связанным с наблюдениями касательных покрытий звезд.

Правильно оформленные результаты наблюдений покрытий звезд Луной публикуются в Информационных сообщениях Астрономической обсерватории Киевского государственного университета.

Литература

1. Дубровский К. К. Инструкция для наблюдений покрытий звезд Луной. — М.: Изд-во АН СССР, 1951.
2. Нефедьев А. А. Карты рельефа краевой зоны Луны на общем нулевом уровне. — Изв. Астрон. обсерватории им. Энгельгардта, 1958, № 30.

§ 10. Инструкция для наблюдений искусственных спутников Земли

4 октября 1957 г. в Советском Союзе был запущен первый искусственный спутник Земли. Тем самым была открыта новая космическая эра в истории человечества. С тех пор в околоземное

пространство было запущено порядка десяти тысяч искусственных космических объектов и их элементов. В небе нашей планеты постоянно находится около 4,5—5 тысяч ИСЗ. Кроме СССР и США, космическими державами стали Франция, Япония, Китай; ряд стран (Англия, Индия, Италия, ФРГ и др.) разрабатывает собственные спутники, запускаемые с помощью ракетно-космических систем других стран, или специальную аппаратуру (ГДР, Венгрия, Канада и др.), используемую на спутниках научно-прикладного характера.

Успешно развивается международное научное сотрудничество в исследовании космоса. Больших результатов добились социалистические страны по программе «Интеркосмос». Выдающимся достижением советской космонавтики является совместная долговременная работа на орбите международных экипажей. С каждым годом возрастает роль отечественной космонавтики в решении многих научных и народно-хозяйственных задач.

Значительная часть научных результатов в области геодезии, геофизики, геодинамики, геологии, метрологии и других областей науки и народного хозяйства получена по наблюдениям за движением искусственных спутников и с орбитальных станций.

Движение ИСЗ испытывает возмущения в результате сопротивления атмосферы, несферичности Земли, влияния Луны и Солнца, светового давления. Поэтому теоретическое предвычисление эфемерид ИСЗ на длительный промежуток времени недостаточно точно. Для регулярных наблюдений ИСЗ в СССР существует с 1957 г. специальная сеть наблюдательных оптических станций при университетах, педагогических институтах, астрономических обсерваториях и других учреждениях, возглавляемая Астрономическим советом Академии наук СССР (109017, Москва, Пятницкая, 48, АС АН СССР).

Число искусственных спутников Земли непрерывно растет, их потолок движения поднимается все выше, что усложняет процесс их обнаружения и наблюдения; повышаются требования к точности наблюдений, что требует разработки новых способов и инструментов, определения личной разности наблюдателей и специальных исследований по автоматизации процессов наблюдений и обработки.

В решении задач повышения качества и эффективности эфемеридной службы ИСЗ, проведения научных исследований, обработки и использования накопленного богатейшего наблюдательного материала в научных интересах могут сыграть местные отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества при АН СССР.

Классификация ИСЗ. Значительное разнообразие ИСЗ привело к необходимости их классификации по основным признакам, связанным с особенностями их оптических и других характеристик.

М е ж д у н а р о д н ы й к о д. По решению КОСПАР каждый искусственный космический объект (совершивший не менее одного

оборота вокруг Земли) обозначается годом запуска, порядковым номером запуска в данном году, а элементы объекта — заглавной буквой латинского алфавита или порядковым числом. Каждому элементу данного запуска присваивается кодовый номер: первые номера (1 или A) — полезному грузу (спутник, возвращаемые аппараты), вторые номера (2 или B) — ракете-носителю, последующие номера (3, 4, 5, ... или C, D, E, ...) — фрагментам. При запуске одной ракетой нескольких спутников нумерация групп соответственно смещается. Пример эфемеридного номера ИСЗ «Интеркосмос-20»: 79 096 001 — год запуска 1979-й, порядковый номер запуска в этом году — 96-й, элемент запуска — № 1 (спутник).

Астрометрическая классификация. Определяющим признаком является видимая угловая скорость ω, зависящая от v — линейной орбитальной скорости, D — топоцентрического расстояния от ИСЗ до наблюдателя и σ — направления вектора скорости по отношению к наблюдателю. Значение ω ИСЗ вычисляется по одной из формул

$$\omega'' \text{c}^{-1} \approx \frac{206\,265 v}{H} \cos z, \quad \omega'' \text{c}^{-1} \approx \frac{0{,}0743}{D} \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)^{1/2} \cos \sigma,$$

где H — высота ИСЗ над поверхностью Земли, в км, r, a — соответственно геоцентрическое расстояние до ИСЗ и большая полуось его орбиты (в долях $R_{\oplus}^{\text{экв}}$).

По величине ω с$^{-1}$ ИСЗ подразделяются на следующие группы:

	Стремительный	Очень быстрый	Быстрый	Средней скорости	Медленный	Очень медленный
ω	2°—5°	1°,5—2°	1°—1°,5	0°,5—1°	0°,2—0°,5	<0°,2
H, км	100÷250	250÷300	300÷450	450÷1000	$10^3 \div 2 \cdot 10^3$	$(2 \div 2{,}5) \cdot 10^3$

Классификация ИСЗ по блеску выглядит следующим образом:

Условный тип блеска	Очень яркие	Яркие	Средней яркости	Слабые	Очень слабые
Описание	Резко выделяются среди звезд	Легко заметны невооруженным глазом в безлунную ночь	Уверенно наблюдаются в БМТ при полнолунии	Видны в БМТ при хороших условиях наблюдений	Предельная видимость в БМТ в безлунную ночь при отличной прозрачности
$m_{\text{ИСЗ}}$	—3÷1	2÷4	5÷7	8÷10	10÷13

«Стандартным» инструментом считается бинокулярная труба БМТ-110М (диаметр объектива 110 мм, увеличение $20^{\times}$, поле зрения 5°). Звездная величина ИСЗ определяется при астрономических наблюдениях с точностью $\pm 0^m,5$.

Классификация ИСЗ по характеру изменения блеска. Видимый блеск ИСЗ является сложной функцией ряда аргументов: расстояния D от наблюдателя до ИСЗ, высоты ИСЗ h над горизонтом, коэффициента прозрачности атмосферы P в момент наблюдения, фазового угла ИСЗ ψ, его углового расстояния от Луны в момент наблюдения; альбедо поверхности, диаметра ИСЗ d и его формы.

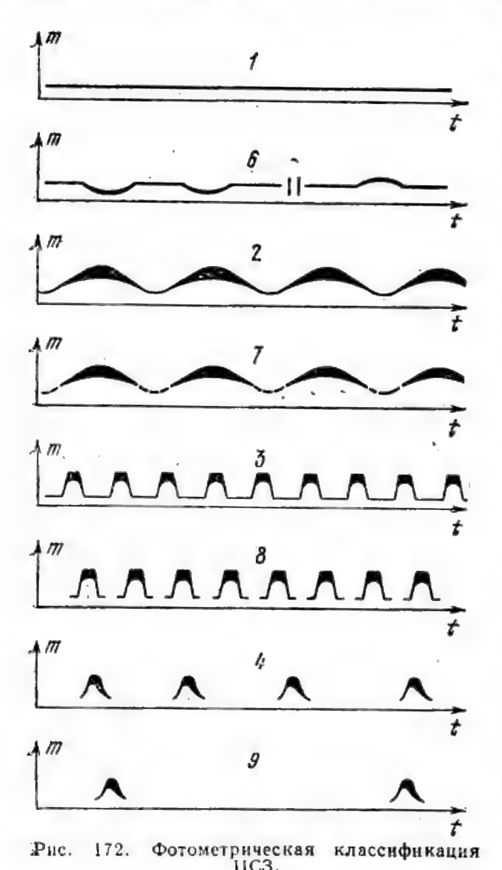


Рис. 172. Фотометрическая классификация ИСЗ.

Функциональная зависимость $m_{ИСЗ}$ от некоторых факторов имеет простое выражение. Например,

$$\Delta m_{\psi} = 5 \lg \cos \frac{\psi}{2};$$

$$\Delta m_D = 5 \lg \frac{(D_E) \text{ км}}{(D_k) \text{ км}};$$

$$\Delta m_{P,h} \approx \frac{1-P}{\sin h}.$$

От других факторов эта зависимость выражается сложнее. Интегральная зависимость блеска ИСЗ от совокупного влияния всех факторов надежнее всего определяется из наблюдений. При сравнении результатов, полученных в разных отделениях ВАГО, необходимо иметь в виду следующее: 1) чем больше географическая широта пункта наблюдения φ и его высота над уровнем моря, тем выше коэффициент прозрачности атмосферы P и тем больше предельно видимая звездная величина объекта m_g для одного и того же типа инструмента; 2) в синхронные периоды наблюдений на двух пунктах с разными φ кривые изменения блеска одного и того же объекта будут различными.

Представляют определенный интерес визуальные оценки характера изменения блеска ИСЗ наблюдателем — так, как он видит в определенные периоды слежения за объектом.

В целях единообразия наблюдений и возможности их статистической обработки, рекомендуется применять следующую фотометрическую классификацию искусственных космических объектов, разработанную В. И. Курышевым в 1965 г. (рис. 172):

Фотометрическая классификация ИСЗ

Код №	Блеск (группа)	Основная характеристика
1	Постоянный	Слабое изменение блеска вследствие изменений атмосферного поглощения, угла фазы, влияния Луны и др.
6	Почти постоянный	Колебания блеска до $\pm 1^m$. Быстрые притухания (вспышки), связанные с особенностями вращения ИСЗ.
2	Переменный пульсирующий без исчезновения	Плавное изменение блеска в широких пределах без исчезновения.
7	Переменный пульсирующий с исчезновением	То же (гр. 2), но с исчезновением в минимуме блеска.
3	Переменный мерцающий без исчезновения	Короткопериодическое (непрерывное) изменение блеска с промежутком в доли секунды.
8	Переменный мерцающий с исчезновением	То же (гр. 3), но с трудно фиксируемым исчезновением в минимуме блеска.
4	Переменный вспыхивающий с коротким исчезновением	Вспышки (всплески), не менее 1—2 на дуге 5°, с коротким исчезновением в минимуме блеска.
9	Переменный вспыхивающий с длительным исчезновением	Вспышки с длительным исчезновением.
0	Не определен	Неизвестна.

Необходимо учесть следующие замечания к этой таблице. Для пульсирующих ИСЗ характерно плавное изменение блеска; при этом возрастание и ослабление блеска по отношению к локальному максимуму могут быть не строго симметричными. Вспыхивающие ИСЗ отличаются внезапностью вспышки (всплеска) и очень быстрым ослаблением с последующим исчезновением. Характер изменения блеска ИСЗ оценивается за период его визуального сопровождения (в отличие от оценок блеска, даваемых на момент наблюдения). Хотя фотометрические характеристики ИСЗ имеют, строго говоря, локальный характер, обработка массовых и качественных наблюдений, произведенных в разных пунктах страны, дает возможность получить ценные выводы научного и практического характера.

Астрометрические наблюдения ИСЗ. Визуальные наблюдения ИСЗ для целей эфемеридной службы Вычислительного центра могут проводиться в горизонтальной или экваториальной системах координат. Основная задача наблюдений— измерение небесных координат ИСЗ в нескольких точках его видимой трассы с одновременным определением моментов времени прохождения объектом этих точек. Точность наблюдений должна

быть не ниже 0°,1 по положению и $0^s,1$ по времени. Следовательно, астрометрические наблюдения ИСЗ требуют обязательного наличия Службы времени.

Н а б л ю д е н и я И С З в г о р и з о н т а л ь н о й с и с т е м е к о о р д и н а т заключаются в непосредственном измерении азимута $A_н$ и высоты $h_н$ при помощи угломерного инструмента (принят геодезический счет азимутов от точки севера: $A_г = A_а + 180°$).

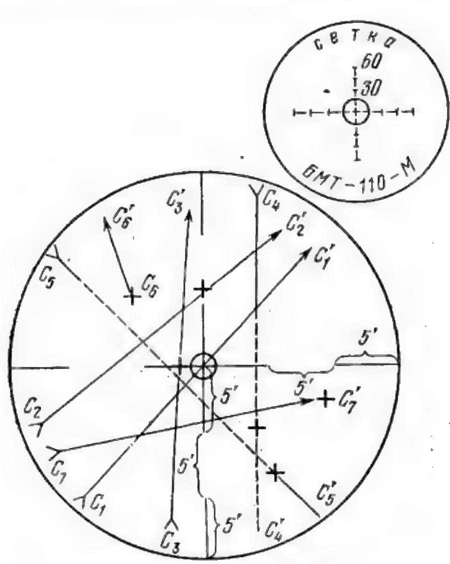


Рис. 173. Типичные случаи засечек ИСЗ в горизонтальной системе координат. C_1C_1' — засечка в центре, $A_0 = 127°\,45'$, $h_0 = 68°\,17'$; C_2C_2' — на вертикали, выше 6', $A_2 = 127°\,45'$, $h_2 = 68°\,23'$; C_3C_3' — на горизонтали, $Л_2'$, $A_3 = 127°\,45' - 5' = 127°\,40'$, $h_3 = 68°\,17'$; C_4C_4' — в максимуме блеска (пульсирующий с исчезновением) — $П4'$, $Н4'$, $A_4 = 127°\,45' + 11' = 127°56'$, $h_4 = 68°17' - 4' = 68°\,13'$; C_5C_5' — в момент вспышки после исчезновения (см. случай 4); C_6C_6' — выход из тени Земли, $Л_6'$, $В_5'$, $A_6 = 127°\,45' - 16' = 127°\,29'$; $h_6 = 68°\,17' + 5' = 68°\,22'$; C_7C_7' — вход в тень Земли (см. случай 4); $В$ — выше, $Н$ — ниже, $П$ — вправо, $Л$ — влево.

Объект наблюдается (засекается), как правило, на вертикальной нити сетки поля зрения и как можно ближе к его центру (рис. 173). Если объект наблюдался при прохождении точно через перекрестие сетки нитей, то его наблюденные координаты $A_н$, $h_н$ равны сделанным при помощи нониусов отсчетам A_0, h_0 соответствующих кругов, т. е.

$$A_н = A_0,\ h_н = h_0.$$

Если объект в момент засечки прошел через вертикальную нить выше или ниже горизонтальной нити, то азимут наблюденный $A_н$ будет равен отсчету A_0 по горизонтальному кругу, а высота $h_н$ — отсчету по вертикальному кругу h_0 плюс расстояние, на котором прошел объект от горизонтальной нити, т. е.

$$A_н = A_0, \quad h_н = h_0 \pm \Delta h_0.$$

При прохождении через зенит объект движется параллельно вертикальной нити и поэтому наблюдается на горизонтальной нити. В этом случае

$$A_н = A_0 \pm \Delta A_г; \quad h_н = h_0 - \Delta h_г \quad \text{или} \quad z_н = z_0 + \Delta z_г,$$

где $\Delta A_г$, $\Delta h_г$ — поправки за наблюдение объекта не на вертикальной нити. Обычно вместо нахождения $\Delta h_г$ определяется $Z_н$ ($h_н$)

по известному h_0. Поправка $\Delta A_г$ и величина $z_н$ вычисляются по формулам

$$\operatorname{tg} \Delta A_г = \operatorname{tg} d \cdot \sec h_0,$$
$$\cos z_н = \cos d \cdot \sin h_0.$$

В этих формулах d есть расстояние точки засечки объекта от вертикальной нити.

При наблюдении объекта вне центра поля зрения инструмента и не на центральных нитях (при выходе из тени, при вхождении в тень, при определении координат в момент вспышки и т. п.) наблюденные координаты объекта находятся по формулам

$$A_н = A_0 \pm \Delta A_г; \quad h_н = h_0 \pm \Delta h_0 - \Delta h_г.$$

Любое астрометрическое наблюдение сопровождается различными ошибками, зависящими от инструмента, метода наблюдения, условий работы и квалификации наблюдателя. Чем полнее и точнее учет возможных ошибок при наблюдении (измерении), тем выше точность получаемых результатов. При наблюдении объектов в горизонтальной системе координат наблюденные координаты ($A_н$, $h_н$) искажены суммарными погрешностями наблюдений, слагающимися из погрешностей ориентирования, коллимации, наклонности, эксцентриситета и других.

Поправки за суммарные инструментальные погрешности вычисляются по формулам

$$\Delta A_с = A^{выч} - A_н; \quad \Delta h_с = h^{выч} - h_н.$$

Определение этих поправок из наблюдений производится по одному из двух способов: абсолютному, из сравнения непосредственно наблюденных на четырех альмукантаратах 15°, 35°, 55°, 75° на исследуемом инструменте и полученных перевычислением из (α, δ) в (A, h) координат звезд, и относительному (по эталону) — определением разностей соответствующих горизонтальных координат одних и тех же звезд, наблюдаемых в исследуемые инструменты и в эталонный инструмент, точность которого значительно выше точности исследуемых. Подробное изложение этих методов содержится в [3,4].

Окончательные значения измеренных горизонтальных координат объекта с учетом всех поправок будут равны

$$A_{ИСЗ} = A_0 \pm \Delta A_г \pm \Delta A_с; \quad h_{ИСЗ} = h_0 \pm \Delta h_0 \pm \Delta h_С - \Delta h_г - \Delta h_\rho,$$

где Δh_ρ — поправка за среднюю рефракцию в функции h_0 (см. § 10 гл. I).

Наблюдения объектов в горизонтальной системе координат требуют стационарной (фундаментальной) установки инструментов или, при ее отсутствии, нивелирования инструмента и ориентирования его кругов по Полярной перед началом и в конце каждого периода наблюдений.

Так как ошибки установки кругов по Полярной

$$\Delta A_{\text{Пол}} = A^{\text{выч}}_{\text{Пол}} - A^{\text{набл}}_{\text{Пол}}, \quad \Delta h_{\text{Пол}} = h^{\text{выч}}_{\text{Пол}} - h^{\text{набл}}_{\text{Пол}}$$

носят локальный характер, то нельзя подменять ими суммарные погрешности, определяемые в 6—8 вертикалах на четырех альмукантаратах.

Лично-инструментальное уравнение наблюдателя. Из множества ошибок, отягощающих результаты визуальных наблюдений ИСЗ, наиболее существенной наряду с инструментальными является ошибка за личную разность наблюдателя $\Delta\lambda$ — систематическая ошибка в определении момента явления, зависящая от психофизиологических особенностей наблюдателя и несовершенства методов и устройств регистрации времени.

Величина личной разности для разных наблюдателей может достигать $\pm 0^s,2 \div \pm 0^s,3$ (и больше!), поэтому ее определение при астрометрических наблюдениях ИСЗ обязательно.

Методы определения личной разности наблюдателя изложены в настоящем издании (см. § 9, гл. V), а также в книгах [3,4] и в книге «Вращение и приливные деформации Земли», вып. 4, 1972, с. 100.

Наблюдения ИСЗ в экваториальной системе координат наиболее доступны отделениям ВАГО и астрономическим кружкам. Сущность их заключается в определении видимого положения спутника относительно звезд в ряде точек видимой части орбиты с регистрацией моментов наблюдений.

Определив по звездному атласу или каталогу координаты опорной звезды α_*, δ_* и измерив расстояния $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ точки засечки объекта от этой звезды, получим экваториальные координаты объекта:

$$\alpha_{\text{ИСЗ}} = \alpha_* \pm \Delta\alpha; \quad \delta_{\text{ИСЗ}} = \delta_* \pm \Delta\delta.$$

Если наблюдение спутника произведено в момент его прохождения через звезду, то в этом «идеальном» случае

$$\alpha_{\text{ИСЗ}} = \alpha_*, \quad \delta_{\text{ИСЗ}} = \delta_*.$$

Наблюдение спутника «на звезде» является наиболее точным, так как полностью исключаются ошибки «привязки» спутника к звезде. Чем беднее район неба, где проходит видимая трасса объекта, звездами и характерными их конфигурациями, тем труднее и грубее его привязка к звездам и тем, следовательно, ниже точность наблюдения.

Для визуальных наблюдений ИСЗ в системе (α, δ, t) пригодна любая широкоугольная светосильная труба. Стационарная установка инструмента в меридиане не обязательна, хотя ее наличие значительно упрощает процессы наведения трубы в заданный район неба и, главное, отождествление района наблюдения со звездной картой.

Если эфемериды ИСЗ выдаются в системе (A, h, t), то перед наблюдениями координаты (A, h) переводятся в (α, δ) по стереографическим сеткам Вульфа или Каврайского, по звездному глобусу или по таблицам для широты пункта наблюдения.

Методика наблюдений. Инструмент нацелен по кругам или звездам в избранный район неба. До прохождения объекта наблюдатель внимательно изучает и запоминает звездную конфигурацию. В зависимости от характера изменения блеска ожидаемого объекта его обнаружение ведется барьером (когда ряд наблюдателей с одинаковыми трубами, поля зрения которых перекрываются, стерегут появление объекта) или способом индивидуального поиска.

Увидев объект, наблюдатель подправляет положение трубы (по высоте, азимуту) так, чтобы объект шел в направлении как можно более близком к центру поля зрения, и сопровождает его, наблюдая в трубу. Выбрав район неба, удобный для привязки спутника к звездам, наблюдатель останавливает движение трубы, установив ее с некоторым упреждением по ходу движения объекта. В момент прохождения объекта около звезды, в створе двух звезд или через выбранную конфигурацию звезд, наблюдатель нажатием на кнопку секундомера регистрирует время засечки объекта. В этот момент как можно точнее оценивается и запоминается местоположение спутника относительно ближайших звезд. Секундомер останавливают в нулевую секунду по точным часам или радиосигналам времени. Не трогая инструмент, наблюдатель записывает показания кругов и название яркой ближайшей звезды или созвездия; зарисовывает на палетке конфигурацию звезд и наносит на ней место засечки спутника по отношению к звездам или сетке нитей, наконец записывает момент засечки по часам и секундомеру. Палетки представляют собой изображение сетки нитей инструмента, изготовленные на прозрачной основе в масштабе звездной карты, используемой для отождествления.

Выбор момента засечки. В зависимости от реальных условий засечки (наблюдения) производятся в момент (рис. 174): *а*) прохождения ИСЗ через звезду; *б*) нахождения ИСЗ в створе близко расположенных двух опорных звезд с оценкой расстояния от одной из них (желательно, чтобы опорные звезды были не дальше 30′ от объекта); *в*) нахождения ИСЗ в избранной точке характерной конфигурации звезд (например, в середине треугольника, на диагонали квадрата и т. д.); *г*) пересечения ИСЗ горизонтальной или вертикальной нитей сетки поля зрения с оценкой расстояний от перекрестья или ближайшей звезды; *д*) пересечения объектом той нити сетки поля зрения, направление которой совпадает с направлением двух достаточно ярких звезд (доступных отождествлению и содержащихся в каталоге). Последний способ легко осуществим для инструментов, позволяющих вращать окулярную часть трубы; окулярной сетке можно при-

дать любой позиционный угол (наблюдения с вращающейся сеткой, рис. 175, *а*).

Способы оценки углового расстояния ИСЗ от звезды. 1. Визуальная оценка расстояния по памяти угловых расстояний, принятых за эталон. 2. Визуальная оценка расстояния

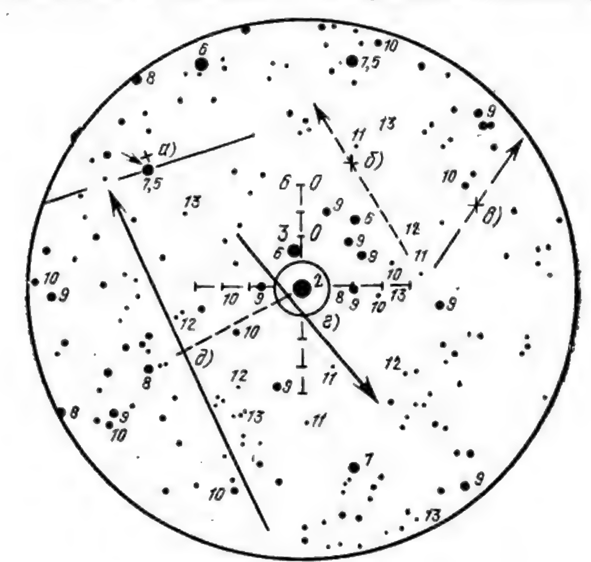


Рис. 174. Выбор момента засечки ИСЗ.

между точкой засечки и звездой по сравнению с известными расстояниями между нитями или штрихами сетки поля зрения.

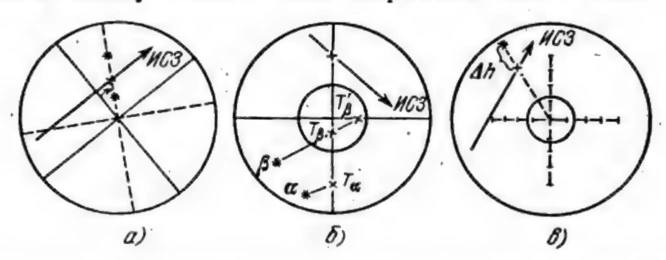


Рис. 175. Способы определения положения ИСЗ привязкой к сетке нитей или к звездам. *а*) засечка объекта при наблюдении с вращающейся сеткой, *б*) привязка объекта к сетке нитей, *в*) привязка ИСЗ к яркой звезде.

3. Сравнение искомого расстояния с примерно равным расстоянием между двумя близкими звездами в районе засечки с последующим определением или уточнением последнего расстояния по звездной карте. 4. Пропорциональное деление известного (или определяемого после наблюдений) расстояния между звездами на воображаемой прямой, между которыми произведена засечка.

5. В случае засечки объекта на вертикальной (горизонтальной) нити сетки определяется расстояние точки засечки от центра сетки нитей по известным угловым расстояниям и размерам штрихов сетки.

Привязка объекта к сетке нитей (рис. 175, *б*). При прохождении объекта вдали от звезд или на участке, бедном достаточно яркими звездами, его наблюдение производят на вертикальной или горизонтальной нитях сетки, применяя вспомогательный способ фиксации звездных прохождений через нити сетки. При этом фиксируются моменты прохождения одной звезды через две нити или двух звезд через одну и ту же нить сетки. На палетке наносят точки наблюдения спутника и звезд. Проводят суточные параллели звезд: через две точки наблюдений одной и той же звезды — сразу на палетке, или через одну из двух звезд, используя соседние (к данной звезде) параллели координатной сетки, после наложения данной сетки с палеткой на звездную карту.

Отождествление звезд на звездной карте: накладываем на карту прозрачную координатную сетку, а на сетку — палетку; добиваемся совпадения зарисованных на палетке положений звезд с их положением на карте (или совпадения одного положения звезды и ее суточной параллели). По координатной сетке, прилагаемой к карте, отсчитывают α, δ точки засечки объекта. Вычисляют изменение α за разность моментов наблюдения объекта и звезды: $\Delta\alpha = \Delta T$. Экваториальные координаты спутника будут равны

$$\alpha_{\text{ИСЗ}} = \alpha_* + \Delta T, \quad \delta_{\text{ИСЗ}} = \delta_*,$$

где $\Delta T = T_* - T_{\text{ИСЗ}}$.

Привязка к яркой звезде (рис. 175, *в*). Наблюдатель ведет спутник в трубу с упреждением в 2—3° по отношению к перекрестию. При появлении в поле зрения яркой звезды, расстояние которой от спутника не превысит по высоте 1—2°, вертикальная нить наводится на нее и инструмент останавливается (фиксируется). В момент пересечения спутником вертикала звезды производится регистрация момента наблюдения.

Одновременно оценивается расстояние по высоте между звездой и спутником:

$$\Delta h = h_{\text{ИСЗ}} - h_*.$$

Название звезды записывается в журнал наблюдений; если звезда неизвестна, производится ее отождествление. На этом заканчивается процесс наблюдений.

Второй этап — вычислительный. Из каталога звезд (из Астрономического Ежегодника СССР) выписываются с точностью до 1' видимые экваториальные координаты звезды на дату наблюдения. По известным α_* и δ_* и моменту наблюдения вычисляются гори-

зонтальные координаты A_*, h_*. Координаты спутника вычисляются по формулам

$$A_{ИСЗ} = A_*, \quad h_{ИСЗ} = h_* \pm \Delta h.$$

Из-за большого объема вычислительной работы и малой информативности способ не имеет большого практического применения.

Наблюдения объектов в светлое время сумерек. При наблюдениях во время гражданских сумерек привязка поля зрения труб по звездам производится либо заблаговременно — при утренних наблюдениях, либо после наблюдений — в вечерние сумерки. При этом фиксируется интервал времени от момента привязки поля зрения трубы до момента наблюдения спутника или наоборот.

При вечерних наблюдениях объект фиксируется относительно сетки нитей с записью времени засечки. С появлением звезд в поле зрения производится их зарисовка, отождествление и определение по карте координат точки засечки.

Известно, что через неподвижно установленную трубу проходят звезды с одинаковым склонением, поэтому для моментов и наблюдения и привязки δ будут равны, т. е. $\delta_{набл} = \delta_{прив}$.

За промежуток времени между наблюдением и привязкой прямое восхождение изменится на разность моментов этих явлений. Прямое восхождение зафиксированной точки следа объекта будет

$$\alpha_{набл} = \alpha_{прив} - (T_{прив} - T_{набл}).$$

При утренних наблюдениях объектов привязка поля зрения инструмента делается заранее; координаты точки засечки ИСЗ вычисляются по формулам

$$\alpha_{набл} = \alpha_{прив} + (T_{набл} - T_{прив}),$$

$$\delta_{набл} = \delta_{прив}.$$

Для отождествления наблюдений и определения экваториальных координат ИСЗ отделение ВАГО должно располагать звездными атласами чешского астронома А. Бечваржа: «Atlas coeli, 1950,0»; «Atlas borealis, 1950,0»; «Atlas eclipticalis, 1950,0». При использовании большого «Звездного атласа» А. А. Михайлова необходимо координаты $\alpha_{1900,0}$, $\delta_{1900,0}$, определенные по атласу, переводить на эпоху 1950,0, так как машинная обработка материалов наблюдений ИСЗ запрограммирована в Вычислительном центре СССР для средних координат $\alpha_{1950,0}$, $\delta_{1950,0}$.

Наблюдения ИСЗ в телескопы. Спутники с очень вытянутой орбитой бóльшую часть времени движутся в апогейной области, что является основной причиной их оптического необнаружения в эти периоды в телескопические трубы. В таких случаях требуется применение телескопов типа АВР-2, АВР-3 и др., так как в инструменты с бóльшим увеличением можно увидеть более слабые по блеску спутники.

Преобладающее число отделений ВАГО непосредственно связано с педагогическими институтами, имеющими средние телескопы, поэтому организация визуальных наблюдений высоких ИСЗ в телескопы — вполне посильная задача ВАГО.

Группы ИСЗ по их высотам над поверхностью Земли:

Тип ИСЗ по высоте	Очень низкий	Низкий	Средней высоты	Высокий	Очень высокий
H, км	100—250	250—500	500—1500	1500—3000	Больше $3\cdot10^3$

Способы обнаружения объектов. Телескоп-рефрактор должен иметь фундаментальную установку и точную юстировку полярной оси. Эфемериды, вычисляемые на базе визуальных наблюдений повышенной точности, выдаются с точностью порядка $\pm1°$ по положению и $\pm1^m$ по времени. Преобладающее число объектов обладают слабым и переменным блеском, что затрудняет их обнаружение. Обнаружение спутников в телескопы можно производить тремя способами: наблюдением очень слабых объектов ($m \geqslant 10$) в главную трубу телескопа с минимальным увеличением и максимальным полем зрения; наблюдением слабых объектов ($8 \leqslant m < 10$) в трубу-искатель; использование вспомогательного инструмента для наведения телескопа.

Обнаружение ИСЗ в главную трубу телескопа. Наиболее целесообразно наблюдать в АВР-3 с окуляром $W = 49^\times$, что дает поле зрения в 55′ и возможность обнаружения очень слабых по блеску объектов до $m_g = 12^m,5$ (или: $W = 26^\times$, поле зрения 1° 30′, $m_g \sim 11^m,8$).

Обнаружение объектов предпочтительно проводить при неподвижном положении телескопа. В условиях отличной видимости можно рекомендовать «покачивание» руками трубы по склонению (по высоте) в пределах $\pm1 - 2°$ от эфемеридной трассы, в зависимости от ожидаемых блеска и фотометрической группы объекта. В поле зрения телескопа нежелательно иметь яркие звезды; чем меньше звезд в поле зрения телескопа, тем больше вероятность обнаружения объекта. Обнаружение всегда ведется при полностью выключенном освещении поля зрения.

При очень медленном видимом движении объекта он «сливается» со звездами, поэтому каждую область нужно обозревать несколько секунд, а не мгновенно. Объекты, движущиеся навстречу видимому движению звезд (с запада на восток), обнаруживаются легче, чем движущиеся с востока на запад.

Обнаружение ИСЗ в трубу-искатель. Оптические оси главной трубы телескопа и смонтированной на ней малой зрительной трубы-искателя по условию параллельны.

Труба-искатель АВР-3 имеет поле зрения в 4°,5, но обладает недостатком «зоркости»: ее $m_g = 9^m,7$. Обнаружив слабый космический объект в трубу-искатель, целесообразно проводить его дальнейшее наблюдение в главную трубу.

Применение инструментов-наводчиков. Для обнаружения в телескоп объектов используются мобильные вспомогательные инструменты, не уступающие по своим оптическим качествам трубе-искателю телескопа. Для инструментов-наводчиков и телескопа выбираются заранее два-три общих звездных ориентира. При обнаружении объекта (например, при вспышке) на телескоп, ближайший к месту обнаружения, наводчик сообщает ориентир и данные коррекции его движения по отношению к этому ориентиру. Наблюдатель на телескопе «перехватывает» объект и ведет наблюдения самостоятельно.

Методика наблюдений ИСЗ. Визуальные наблюдения ИСЗ в телескопы проводятся в экваториальной системе координат. Обнаружив объект, наблюдатель делает первую засечку в расчетном районе: регистрирует момент наблюдения, зарисовывает на заранее приготовленной палетке положение точки засечки объекта по отношению к звездам или записывает корректирующие комментарии на магнитофон (диктует секретарю) или запоминает картину наблюдения. Повторное обнаружение осуществляется по способу «высотно-азимутальных ступенек» при помощи микрометрического движения телескопа по часовому углу и склонению.

При заданной точности определения координат точность определения времени должна быть тем выше, чем больше видимая угловая скорость объекта. При наблюдениях высоких спутников достаточна точность определения времени до $0^s,1$—$0^s,2$, т. е. при наблюдениях ИСЗ в телескопы допустимо применение секундомеров.

Обычно требуемая инструкциями точность визуальных наблюдений спутников в 0°,1 по положению и $0^s,1$ по времени соответствует случаю движения объекта с видимой угловой скоростью $\omega = 1°/с^{-1}$ на высоте порядка 400 км.

Фотографические наблюдения ИСЗ. При отсутствии специальных камер фотографические наблюдения ИСЗ возможны с малоформатными камерами типа «Ленинград», «Киев», «Зоркий», «Зенит-С», «ФЭД». Основные достоинства способа: документальность, оперативность, точность не ниже, чем при визуальных наблюдениях; особо эффективен он при наблюдениях низких и ярких спутников (до $m \leqslant 4 \div 6$). Пленки применяются высокочувствительные; использование гибкого тросика для управления работой затвора обязательно.

Содержание способа: 1) получение на негативе изображения видимого пути ИСЗ среди звезд в виде ряда отдельных точек или штрихов; 2) регистрация и вычисление моментов времени нахождения ИСЗ в определенных точках изображения его

следа на негативе; 3) определение экваториальных координат объекта с помощью опорных звезд.

Эффективное время экспозиции спутника—

$$t_{эф} = \frac{d}{\omega F},$$

где d — диаметр изображения объекта на негативе, F — фокусное расстояние камеры, ω — видимая угловая скорость ИСЗ в рад/с.

Цель фотонаблюдений ИСЗ с помощью малоформатных камер: 1) приближенное определение экваториальных координат ИСЗ для эфемеридной службы спутника при условии ускоренной обработки негатива с точностью, не уступающей точности визуальных наблюдений; 2) использование негативов для фотометрии ИСЗ (определение блеска и его изменения во времени).

Подготовка к наблюдениям. На звездную карту (глобус) наносится эфемеридная трасса ИСЗ. С учетом положения тени Земли, фазы Луны, положения Луны в момент наблюдения выбираются ориентировочно районы фотографирования с характерными конфигурациями звезд. Фотокамера с механической заслонкой устанавливается на штативе теодолита и соединяется линией связи со службой времени. Для удобства и быстроты нацеливания, а также для уверенного отождествления района фотографирования со звездной картой установка снабжается самодельными разделенными кругами по азимуту и высоте. Деления от 0 до 360° по азимуту и от 0 до 90° по высоте оцифровываются через 10°. Перед наблюдениями круги азимута и высоты ориентируются по Полярной или мире с известными азимутом и высотой ($A = 0°$ — в точке севера). Проверяется линия связи (или завод и исправность секундомеров). Затвор объектива устанавливается на расчетную выдержку.

В зависимости от состояния неба и блеска ИСЗ можно использовать различные объективы. Если ожидается яркий объект, целесообразно произвести его съемку объективом МТО-500 ($F = 500$ мм, 1 : 5,3). При засвеченном небе хорошо помогают поляризационные фильтры (поляроиды).

Достоин применения опыт оптической станции наблюдений ИСЗ при Вологодском пединституте: наблюдения ИСЗ ведутся двумя спаренными фотоаппаратами с механической заслонкой, смонтированными на одной установке, крепящейся к треноге теодолита и снабженной кругами азимута и высоты.

Процесс наблюдений. При появлении ИСЗ в поле зрения камеры производится его фотографирование при полностью открытом объективе с расчетной выдержкой. Регистрация моментов при открытии и закрытии затвора производится с помощью синхроконтакта, телеграфного ключа или выверенных секундомеров. На фотонегативе получатся следы (точки) от ярких звезд и черточка — след ИСЗ. С помощью механической за-

слонки след ИСЗ может быть разбит на серию точек без регистрации момента перекрытия объектива.

Применение малоформатной фотокамеры «Ленинград» с механической заслонкой для фотографирования прерывистого следа позволяет регистрировать моменты не только открытия и закрытия затвора фотоаппарата, но и дает возможность при открытом затворе фотоаппарата регистрировать момент перекрытия объектива механической заслонкой.

Так как за короткий промежуток времени фотографирования ИСЗ (эффективное время экспозиции) на фотонегативе получатся следы (черточки) только ярких звезд, а их в кадре может быть мало, то желательно повторное экспонирование звезд на кадр с большей экспозицией в зависимости от чувствительности пленки (от 5^s и больше). Закрытие затвора объектива у камеры «Ленинград» производится вручную, с помощью специального рычажка, имеющегося на фотоаппарате.

Процесс фотографирования объекта может быть повторен несколько раз в зависимости от времени нахождения объекта над горизонтом, условий наблюдения и квалификации наблюдателя.

Если объект переменного блеска, то, следя за ним в трубу, делают от руки одну короткую экспозицию в период около максимума блеска. Длительность спутниковой экспозиции Δt ИСЗ зависит от $\omega_{ИСЗ}$, чувствительности пленки, блеска объекта и характера его изменения; на практике $\Delta t_{ИСЗ}$ подбирается экспериментально в результате пробных наблюдений.

На хорошей камере и с высокочувствительной пленкой возможно получение следа спутника до $5 \div 6^m$ (в лучшем случае до $6^m,5$). За время одного прохождения объекта можно получить от двух-трех до пяти-семи негативов в зависимости от видимой угловой скорости и блеска ИСЗ. На одном и том же негативе возможно получение до трех-пяти прерывистых следов спутника.

Обработка. Определение координат и времени. Фотохимическая обработка пленки — обычная, ускоренная. След спутника на негативе изобразится в виде тонкой длинной черты с перерывами в моменты закрывания объектива; следы звезд — короткие черточки. Выбираем карту атласа Бечваржа, соответствующую району фотографирования. Отождествляем участок фотографирования. Проектируем негатив через фотоувеличитель на звездную карту.

Совмещаем группу опорных звезд на карте с их изображениями на негативе. После точного совмещения переносим штрих спутника на карту и снимаем для середины штриха координаты $\alpha_{ИСЗ}$, $\delta_{ИСЗ}$ с возможной точностью при помощи специальных прозрачных измерительных сеток (палеток).

Моменты наблюдений ИСЗ вычисляются как средние из моментов открывания T_0 и моментов закрывания $T_з$ за-

твора камеры, определяемых по хронографу (или секундомерам):

$$T_н = \frac{T_о + T_э}{2}.$$

Требуемая точность результатов (не грубее): $\pm 0^m,5$ — по α, $\pm 6'$ — по δ, $\pm 0^s,1$ — по T.

Весь процесс работы по одному объекту (от начала наблюдений до отправки результатов в вычислительный центр) занимает в среднем около двух часов.

Фотометрические наблюдения ИСЗ. Методика определения блеска. Систематические и научно организованные определения визуального блеска ИСЗ и характера его изменений дают ценный материал для изучения вопросов ориентации спутников в пространстве, определения периодов вращения, что позволяет решать важную геофизическую проблему о строении верхней атмосферы и ряд других. Визуальные фотометрические наблюдения спутников не требуют дорогостоящего оборудования, методика их проведения несложна, поэтому они могут успешно вестись практически в каждом отделении ВАГО, располагающем астрономами-любителями.

Способы визуальной фотометрии звезд Погсона, Аргеландера, Пикеринга и Нейланда—Блажко (гл. IV, § 4) в применении к ИСЗ имеют определенные недостатки [4]. В связи с этим автор этой инструкции разработал для визуальной фотометрии ИСЗ способ памятной шкалы звездных величин [4]. В ряде отделений ВАГО сконструированы визуальные спутниковые фотометры, основанные на применении идеи «искусственной звезды» (Бюллетень СОН ИСЗ, издаваемый АС АН СССР: 1959, № 4, 1963, № 37 и др.). С помощью фотометра блеск ИСЗ определяется путем его сравнения с известным блеском искусственной или естественной звезды сравнения. Точность определения блеска порядка $0^m,15 \div 0^m,20$ в большом диапазоне звездных величин. Способ визуальной фотометрии с безлинзовой системой (Рязань, Е. Б. Гусев и др., рис. 176) не нарушает целостности инструмента и требует лишь незначительной модернизации окуляра (без сетки).

Визуальный способ определения моментов экстремумов блеска. Для определения периода вращения спутника, равного удвоенному периоду изменения его блеска, проводятся определения моментов максимумов и минимумов блеска ИСЗ визуальным и фотографическим способами. Простейший из визуальных методов, позволяющий получить моменты максимумов и минимумов блеска, таков: наблюдатель диктует секретарю или записывает на магнитофон условные «оценки блеска» «с—с—с—с — пост—пост—я—я—я—я пост—пост—с—с—с—» и т. д. в зависимости от того, становится ли блеск спутника слабее («с») или ярче («я») или остается некоторое

время постоянным («пост»). Одновременно отмечаются соответствующие моменты ... Этот способ предназначен для уточнения положения максимума или минимума блеска на относительно условной кривой блеска. Определение экстремумов блеска можно производить непосредственно в системе памятной шкалы звездных величин с одновременной фоторегистрацией координат и

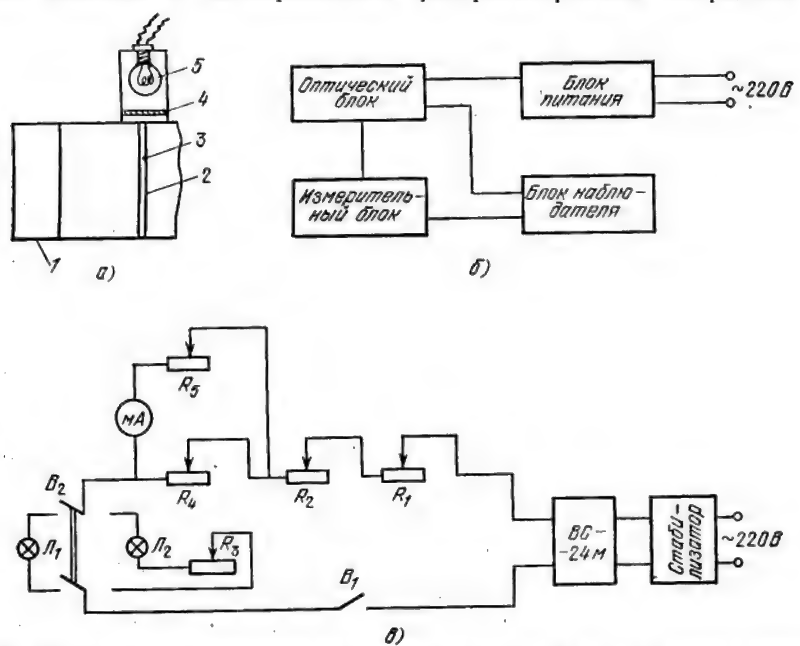


Рис. 176. Спутниковый безлинзовый визуальный фотометр СВФ-3Р. *а*) Схема фотометра, *б*) блок-схема, *в*) электрическая схема. *1* — окуляр БМТ-110 М, *2* — плоскопараллельная пластинка, *3* — точечное конусообразное углубление, *4* — корректирующий светофильтр, *5* — фотометрическая лампочка.

регистрацией моментов определения блеска и координат на хронограф или с помощью секундомеров и выверенных часов.

Определение моментов экстремума блеска по фотографии. При помощи светосильной аэрофотокамеры производится фотографирование достаточно яркого ИСЗ. Полученные снимки обрабатываются на микрофотометре (например, МФ-2). Ориентирование негатива на микрофотометре соответствует ориентированию вдоль оси абсцисс изображения пути объекта. Производятся определения оптической плотности почернения через определенные интервалы: вблизи максимумов и минимумов чаще (например, через $0{,}05 \div 0{,}1$ мм), а в других — реже.

В избранном масштабе строится график зависимости величины почернения S от длины пути x и график зависимости времени t от x. По известной длине пути x и по известным моментам пере-

рывов в экспозиции объекта по графикам определяются моменты максимума блеска объекта с точностью порядка $\pm 0^s,1$.

Для определения экваториальных координат объекта α, δ в моменты максимумов блеска видимый путь объекта наносится (после отождествления звезд сравнения на негативе) на карты звездного атласа. С учетом введения поправки в α за суточное вращение небесной сферы точность определения α, δ равна примерно $0^s,1$ и $0^\circ,1$ соответственно.

Фотоэлектрические наблюдения ИСЗ производятся с помощью электрофотометров на подвижной установке (например, на четырехосной установке кинотеодолита). Точность фотоэлектрических оценок блеска ИСЗ на порядок выше точности визуальной фотометрии. При электрофотометрических наблюдениях производится обязательный учет фона неба вдоль трассы ИСЗ, блеска звезд фона, попадающих в диафрагму, определение прозрачности атмосферы. Соответствующие поправки вводятся в полученные данные.

Обычно угловой диаметр диафрагмы составляет $5' \div 6'$; применение меньших диафрагм затрудняет слежение за объектом. Наиболее целесообразно конструировать спутниковые электрофотометры с телеобъективом МТО-1000 с использованием в качестве светоприемников фотоумножителей ФЭУ-79, ФЭУ-86, ФЭУ-64. Регистрация осуществляется самопишущими приборами или методом счета фотонов.

Обычно исправленную кривую блеска ИСЗ относят к «стандартному» топоцентрическому расстоянию объекта 1000 км.

Заключение. Организация работы. Из рассмотренных видов оптических наблюдений ИСЗ наиболее доступным для отделений ВАГО являются визуальные и фотографические (малоформатными камерами) наблюдения относительно звезд, а наиболее трудными в смысле организации — наблюдения в горизонтальной системе координат и электрофотометрические. Для любого вида наблюдений нужна Служба времени, обеспечивающая определение моментов наблюдений с точностью $0^s,1$. Желательно наличие специальной астрономической площадки, отвечающей соответствующим требованиям.

Приняв решение о проведении определенного вида наблюдений, отделение ВАГО или кружок сообщает Астрономической секции ЦС ВАГО избранную тему, материально-технические возможности, состав наблюдателей, координаты пункта наблюдений (для астрометрических наблюдений — с точностью порядка $0',1$ по φ, $0^s,5$ — по λ и 1 м по H).

Все эти данные будут переданы в Астрономический совет АН СССР и Вычислительный центр «Космос». Астрономическая секция ЦС ВАГО окажет отделению всю необходимую помощь в организации наблюдений ИСЗ.

Эфемериды. Документация. Наиболее доступный способ обеспечения отделения ВАГО эфемеридами ИСЗ —

это установление связи с ближайшей станцией Астросовета по оптическим наблюдениям спутников. Для наблюдений ИСЗ в телескопы отделение может получать эфемериды из Вычислительного центра «Космос» или из Института теоретической астрономии АН СССР (191187, Ленинград, Д-187, Набережная Кутузова, д. 10).

Результаты астрометрических наблюдений ИСЗ сообщаются по телеграфу в Вычислительный центр «Космос» по соответствующему международному коду (см. Приложение VII). Материалы исследований и фотометрических наблюдений ИСЗ высылаются по почте в адрес Астрономической секции ЦС ВАГО или, по ее указанию, координатору соответствующей программы. Консультации по содержанию и методике научных наблюдений ИСЗ и способам прогнозирования их движения можно получить у автора настоящей Инструкции (390023, Рязань-23, ул. Циолковского, д. 1, кв. 68) и у руководителей оптических станций Астросовета АН СССР.

Литература

1. Абалакин В. К., Аксенов Е. П., Гребеников Е. А., Демин В. Г., Рябов Ю. А. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике. — 2-е изд., доп. и перераб. — М.: Наука, 1976.

2. Каплан С. А. Как увидеть, услышать и сфотографировать искусственные спутники Земли. — М.: Физматгиз, 1958.

3. Курышев В. И. Курс астрономических наблюдений космических объектов. — М.: Воениздат, 1965.

4. Курышев В. И. Оптические наблюдения космических объектов. — М.: Воениздат, 1973.

§ 11. Инструкция для наблюдений полярных сияний

Общие сведения о полярных сияниях. *Полярные сияния* представляют собой свечение верхних разреженных слоев земной атмосферы, возникающее при вторжении в атмосферу потоков быстрых электрически заряженных частиц. Сталкиваясь с атомами и молекулами воздуха, эти частицы возбуждают их и вызывают свечение атмосферы на высоте, как правило, от 100 до 1000 км.

Обычно полярные сияния наблюдаются не на всем земном шаре. Наиболее часто полярные сияния возникают в двух кольцевых зонах, окружающих оба полюса Земли (рис. 177). В ночные часы полярные сияния появляются в зените, главным образом на геомагнитных широтах, отстоящих от геомагнитных полюсов приблизительно на 23° и называемых *зонами полярных сияний*. При благоприятных условиях сияния, возникающие на высоте около 100 км, могут быть видимы с расстояния до 1000 км, и поэтому на расстояниях в 15—30° от полюсов они могут наблюдаться почти каждую безоблачную ночь.

Положение зоны полярных сияний несколько меняется в зависимости от фазы солнечной активности. Так, в годы максимальной солнечной активности зона полярных сияний в СССР

проходит севернее Кольского полуострова, через Новую Землю, южные районы полуострова Таймыр, между Новосибирскими островами и материком и далее через остров Врангеля.

В годы минимума солнечной активности зона полярных сияний смещается на 2° к полюсу. Южнее этой зоны полярные сияния в ночные часы видны преимущественно в северной половине неба, а к северу от нее — в южной половине. Иногда сияния наблюдаются в зените не только в зоне сияний, но и вне ее.

Интенсивные полярные сияния появляются в тесной связи с другими геофизическими явлениями — магнитными бурями, нарушениями нормального состояния ионизованных слоев атмосферы и, как следствие этого, с нарушениями радиосвязи на коротких волнах. В период магнитных бурь полярные сияния появляются в средних и низких географических широтах, а при наиболее сильных бурях — даже на земном экваторе.

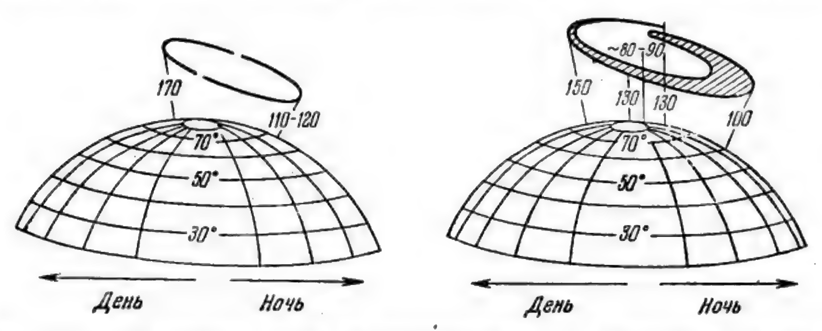


Рис. 177. **Овалы полярных сияний над поверхностью Земли в магнитно-спокойные периоды (слева) и области в магнитно-возмущенные периоды (справа). Числами указана высота овала над поверхностью Земли в километрах.**

В высоких географических широтах, где полярные сияния происходят регулярно, основным способом их изучения является систематическое фотографирование всего неба. Но и визуальные наблюдения дают ценную информацию, так как позволяют отмечать быстрые пульсации в интенсивности сияний и быстрые движения внутри них, а диффузные формы сияний (пятна и вуаль) вообще с трудом различаются на фотографиях. Поэтому визуальные наблюдения являются необходимым и весьма важным дополнением к фотографическим наблюдениям. В средних и низких географических широтах, где полярные сияния появляются относительно редко, единственным источником информации о них служат визуальные наблюдения.

Классификация полярных сияний, их описание и условные обозначения. Формы и структура полярных сияний обозначаются буквами латинского алфавита, которые обязательны при записи наблюдений (рис. 178).

Ф о р м ы   п о л я р н ы х   с и я н и й. По современной классификации полярные сияния подразделяются на три группы: лентообразные, диффузные и лучи.

К лентообразным сияниям относятся *дуги* (А) и *полосы* (В). Дуги имеют вид арки (или части арки) с правильным, обычно

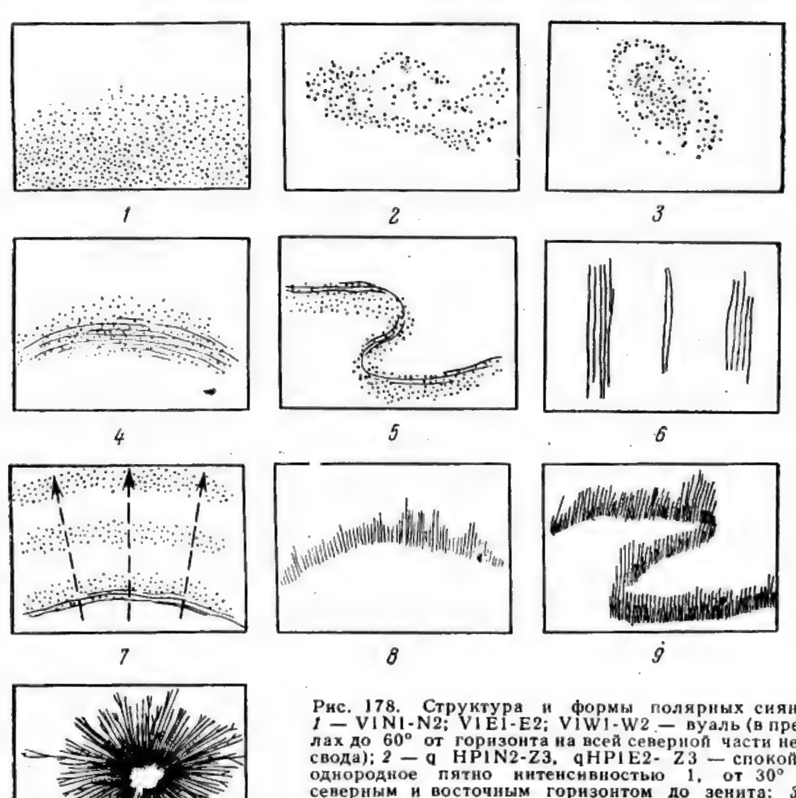


Рис. 178. Структура и формы полярных сияний. *1* — V1N1-N2; V1E1-E2; V1W1-W2 — вуаль (в пределах до 60° от горизонта на всей северной части небосвода); *2* — q HP1N2-Z3, qHP1E2- Z3 — спокойное однородное пятно интенсивностью 1, от 30° над северным и восточным горизонтом до зенита; *3* — p1P2N2-Z3 — пульсирующее пятно интенсивностью 2 балла, от 30° над северным горизонтом до зенита; *4* — qHA1cZ3 — спокойная однородная дуга интенсивностью 1 балл с красной верхней частью в зените; *5* — qHB2S2-Z3 — спокойная однородная полоса интенсивностью 2 балла, от 30° над южным горизонтом до зенита; *6* — aR_2R2N1-Z3 — активные длинные лучи интенсивностью 2 балла, от северного горизонта до зенита, *7* — $aP_2HA4eN2$-Z3 — активное, пламенное сияние в виде однородной дуги интенсивностью 4 балла, голубое; располагается от 30° над северным горизонтом до зенита; *8* — aR_1A2Z3 — активная лучистая дуга (с короткими лучами) интенсивностью 2 балла; располагается в зените; *9* — aR_1B3 dZ3 — активная лучистая полоса интенсивностью 3 балла с красной нижней частью, в зените; *10* — acR_2R3 dZ3 — активная корона из длинных лучей интенсивностью 3 балла с красной нижней частью, в зените.

резко очерченным нижним краем. Иногда дуги тянутся через весь небосвод. Одновременно может быть видно несколько параллельных дуг. Если нижний край сияния неправильный и содержит изгиб или складку, то форма называется полосой. Дуги и полосы бывают широкими и узкими. Полосы подвижнее, чем дуги. Ок-

раска дуг и полос чаще всего зеленоватая, причем нередко нижний край их окрашен в красный цвет.

Диффузные формы имеют вид *пятен* (P) и *вуали* (V). Свечение в виде пятна обычно имеет нечеткие края, часто походит на облако, освещенное Луной. Цвет пятен белесоватый, но может быть и темно-красным. Вуаль лишена определенной формы, охватывает большую часть неба и может являться фоном для других форм сияний.

Лучи (R). Изолированный луч представляет собой узкий пучок света. Форма состоит из отдельных изолированных лучей либо из пучка лучей, расположенных тесно друг к другу, либо из группы разбросанных лучей. Весьма часто лучи наблюдаются одновременно с другими формами сияний. Цвет лучей обычно зеленоватый, хотя короткие лучи могут быть целиком или частично красного цвета.

Неотождествленные формы (N). Нередко наблюдатель не может определить формы сияний в силу плохих условий наблюдений (облачность, Луна, сумерки и др.). Иногда отождествляемая часть формы располагается под горизонтом и видна только верхняя часть свечения (в прежней классификации эта форма определялась как «свечение у горизонта»). Во всех случаях, когда форма сияния не отождествляется, употребляется символ N.

Структура полярных сияний. Классификация предусматривает три типа структуры полярных сияний: однородная (H), волокнистая (S), лучистая (R).

Однородным (H) сияние считается в том случае, если в нем отсутствует внутренняя структура свечения и оно имеет вид однородного, без видимых лучей, светящегося образования. Если яркость сияния изменяется во времени, то сразу по всему сиянию. К таким формам принадлежит, например, однородная дуга (HA) или однородная полоса (HB); обычно они имеют желто-зеленый цвет; нижний их край иногда бывает красным.

Волокнистая (S) или бороздчатая структура: сияние состоит из слегка неправильных тонких волокон или борозд, идущих параллельно нижнему краю.

Эта структура наблюдается обычно у сияний вблизи зенита. К такой структуре, например, принадлежит бороздчатая полоса (SB).

Лучистая (R) структура характерна тем, что сияние состоит из многих тесно примыкающих друг к другу отдельных лучей. К такой структуре относятся лучистая дуга (RA), лучистая полоса (RB) или отдельные лучи (RR). В последнем случае символ R повторяется, что необходимо для сохранения однородности употребления символов.

При записи лучистой структуры необходимо учитывать длину луча. Она отмечается цифровым индексом у буквы R, характеризующей структуру сияния: R_1 — короткие лучи, длина которых примерно соответствует обычной длине луча в дуге или

полосе; R_2 — длинные лучи, часто протягивающиеся от зенита до горизонта.

Короткие лучи (R_1) обычно бывают ярче вблизи нижнего края, и их яркость быстро затухает с высотой. Длинные лучи (R_2), как правило, однородны по яркости, но их свечение слабее, чем у коротких лучей.

Для детализации структуры сияния вводятся дополнительные обозначения:

1) символ кратности (m_2, m_3,...), вводится при появлении двух или более параллельных форм одного вида (например, символ m_2HB обозначает две близко расположенные однородные полосы);

2) символ короны (c) применяется при появлении в зените лучей в виде веера, напоминающего корону. Однородные формы, расположенные вблизи зенита, также могут иметь вид короны (например, cHA или cHP).

Состояние активности. Состояние активности характеризует поведение отдельной формы или всего явления во времени. Для характеристики активности вводятся символы, предшествующие при записях всем другим символам:

q — спокойная форма: положение и форма полярного сияния изменяется очень слабо и медленно. Так, например, символ qR_2R обозначает спокойные длинные лучи, сохраняющиеся без изменений от 10 минут до 1 часа; символ qHA характеризует спокойную однородную дугу, которая может оставаться неизменной в течение часа или даже нескольких часов, лишь очень медленно смещаясь по небосводу;

a — активная форма: форма сияния быстро изменяется во времени; обычно активные формы — наиболее яркие.

P1 — пульсации: довольно быстрые ритмические колебания яркости с периодом от долей секунды до нескольких минут.

P2 — редкий вид пульсаций, одновременно происходящих на большой площади неба. Явление протекает в виде волн света, вздымающихся вверх одна за другой. Эти пульсации появляются обычно в поздней стадии яркого и активного сияния, в момент его максимального развития. Раньше эта форма считалась самостоятельной и называлась «пламенным сиянием».

Яркость. При определении яркости или интенсивности сияний принимается во внимание максимальная интенсивность в данной форме и используется следующая шкала:

1. Слабое сияние: яркость сравнима с яркостью Млечного Пути.
2. Среднее по интенсивности сияние: яркость сравнима с яркостью перистых облаков, освещенных Луной.
3. Яркое сияние: яркость сравнима с яркостью кучевых облаков, освещенных Луной.
4. Очень яркое сияние: яркость много больше, чем 3; в предельном случае очень яркое сияние может создать освещенность на Земле, сравнимую с освещенностью от полной Луны.

Цвет сияния. Наиболее часто встречающиеся цвета — белый, зеленоватый и желтоватый — отмечать не нужно. Цвет фиксируется лишь при его отличии от обычного следующими символами: a — красный; b — красный и зеленый; c — красная только верхняя часть сияния; d — красная только нижняя часть сияния; e — голубой; f — фиолетовый.

Положение сияния на небе. Положение полярного сияния на небе определяется азимутом и высотой над горизонтом его нижнего края.

Азимут обозначается по четырем секторам (румбам): N, E, S, W (геомагнитный север, восток, юг, запад). Секторы N и S ориентированы на геомагнитный меридиан и охватывают углы в 60° (по 30° в обе стороны от геомагнитного меридиана); секторы E и W — по 120° (по 60° в обе стороны от направления к геомагнитному востоку и западу).

Направление геомагнитного меридиана с точностью до 5° можно определить по направлению географического меридиана (полуденной линии) и поправке, указанной в табл. XXVII.

Таблица XXVII

Отклонение геомагнитного меридиана от географического меридиана (полуденной линии) *)

Долгота	Широта										
	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°
10°	—15°	—15°	—15°	—20°	—20°	—20°	—25°	—30°	—35°	—45°	—60°
20	—15	—15	—15	—15	—20	—20	—20	—30	—35	—40	—50
30	—15	—15	—15	—15	—20	—20	—20	—25	—30	—35	—45
40	—10	—15	—15	—15	—15	—20	—20	—25	—25	—30	—40
50	—10	—10	—15	—15	—15	—15	—20	—20	—25	—30	—35
60	—10	—10	—10	—15	—15	—15	—15	—20	—20	—25	—30
70	—10	—10	—10	—10	—10	—10	—15	—15	—20	—20	—25
80	—5	—10	—10	—10	—10	—10	—10	—10	—15	—15	—15
90	—5	—5	—5	—5	—5	—5	—5	—10	—10	—10	—10
100	0	—5	—5	—5	—5	—5	—5	—5	—5	—5	—5
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5
130	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+5	+10	+10	+10	+10
140	+5	+5	+5	+5	+10	+10	+10	+10	+10	+15	+15
150	+5	+5	+10	+10	+10	+10	+15	+15	+15	+20	+20
160	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+15	+15	+20	+25	+25
170	+10	+10	+10	+15	+15	+15	+15	+20	+20	+25	+35
180	+10	+10	+15	+15	+20	+20	+20	+25	+25	+30	+40
190	+15	+15	+15	+20	+20	+20	+25	+25	+30	+35	+45

*) Знак минус соответствует отклонению северного конца геомагнитного меридиана к западу (влево) от северного конца географического; знак плюс — к востоку (вправо) от него.

Высота нижнего края сияния определяется по дуге от горизонта до зенита (по кругу высоты), которая на глаз делится на

Таблица XXVIII

Сводная таблица символов

Состояние активности	Обозначения, детализирующие характер сияния в целом	Структура	Форма	Яркость	Цвет	Азимут	Высота над горизонтом
1	2	3	4	5	6	7	8
q — спокойное	m_2 — двукратная	H — однородная	A — дуга	1 — слабое	a — красный	N — ±30° от севера	1 — от горизонта до 30° над ним 2 — от 30° до 60° над горизонтом
a — активное	m_3 — трехкратная	S — волокнистая	B — полоса	2 — среднее	b — красный и зеленый		
P1 — пульсирующее	c — корона	R1 — лучистая, короткие лучи	P — пятно	3 — яркое	c — красная верхняя часть	E — ±60° от востока	Z3 — от 60° над горизонтом до зенита
P2 — пламенное		R2 — лучистая, длинные лучи	V — вуаль	4 — очень яркое	d — красная нижняя часть	S — ±30° от юга	
			R — луч		e — голубой		
			N — неотождествленная форма		f — фиолетовый	W — ±60° от запада	

три части, условно обозначаемые: 1 — от горизонта до высоты в 30°; 2 — от 30° до 60° над горизонтом; Z3 — от 60° над горизонтом до зенита.

Положение сияния записывается в конце всех остальных характеристик. Например, запись aR_2B2aN2 означает, что активная лучистая полоса, с длинными лучами интенсивностью два, красного цвета, располагалась в секторе северного направления геомагнитного меридиана, на высоте от 30 до 60° над горизонтом. Запись qHP1S2 — Z3 означает, что спокойное однородное пятно, интенсивностью единица, обычного цвета, располагалось в южном секторе на высоте от 30° до зенита. Для сияний в зените азимут не указывается. При наличии на небосводе нескольких форм все они должны быть занесены в бланк наблюдений.

Высота лентообразных и лучистых форм полярных сияний определяется по нижней границе сияния. Для диффузных форм (P и V) указывается интервал по высоте (1—2 означает расположение сияния от горизонта до высоты в 60°). Если какая-либо форма переходит через зенит (например, вуаль тянется от северного горизонта до высоты в 30° над южным горизонтом), то производятся две записи: V1N1—Z3; V1S2.

При перемещении сияния указывается словами место (азимут и высота), к которому оно движется.

Облачность. В пунктах, расположенных на широте 65° и севернее, при отсутствии сияний необходимо указывать значение облачности: малооблачно (до трех баллов), умеренная облачность (4—6 баллов) и сильная облачность (более 6 баллов). Отметка об облачности проставляется рядом с записью об отсутствии сияния.

Записи наблюдений. Записи наблюдений полярных сияний выполняются в следующей последовательности: сначала делается запись структуры и формы, затем слева от нее записывается активность и детализация общего вида, и, наконец, справа от формы отмечаются яркость, цвет, азимут и высота.

Все используемые для описания сияний обозначения (символы) сведены в табл. XXVIII, которую при проведении наблюдений необходимо помещать на видном месте и по ней проверять правильность применяемых символов и порядок их расстановки.

Примеры использования символов.

1. acR_2B3bN1 — активная (a), в форме короны (c), лучистая полоса (R_2B) с длинными лучами, яркость 3, цвет красно-зеленый (b), в секторе северного направления геомагнитного меридиана (N), на высоте до 30° над горизонтом (1).

2. qm_2HB1N2 — спокойная двойная однородная полоса, интенсивности один, обычного цвета, в секторе северного направления геомагнитного меридиана, на высоте от 30 до 60° над горизонтом.

3. qcHA1E2-Z3 — спокойная однородная дуга в виде короны, обычного цвета, интенсивности один, в секторе геомагнитного востока, на высоте более 30° до зенита.

4. aP2HB4eZ3 — активное, очень яркое пламенное (пульсирующее) сияние в виде однородной полосы, голубое, располагается в зените.

5. aR_2R2W1 — активный длинный луч (R_2 — структура, R — форма), интенсивности два, обычного цвета, в секторе геомагнитного запада, нижняя граница в пределах 30° над горизонтом.

6. qm_3SB2S2 — спокойная многократная бороздчатая полоса, интенсивность 2, обычного цвета, в южном направлении геомагнитного меридиана, на высоте от 30 до 60° над горизонтом.

Организация и проведение наблюдений полярных сияний. Руководство наблюдениями осуществляет ИЗМИРАН — Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения волн Академии наук СССР. Адрес института: телеграфный — Москва, ИЗМИРАН; почтовый — почтовое отделение Академический городок, Московской области, ИЗМИРАН.

Для унификации записей наблюдений полярных сияний наблюдателям рассылаются специальные бланки, на которых ведутся записи наблюдений.

Бланк

визуальных наблюдений полярных сияний в ____________м-це 198 г.

Станция ____
(название)

Широта ____________ Долгота____________

Время наблюдений		
дата	время московское	
фев. 21	17—20	Сияний не отмечено. Малооблачно
	21	qm_2HA1N2
	22	aR_1B3cS2; aR_2R2N1
	23	acR_2B4eS2;
	24	V1W1—Z3
	0—7	Сияний не отмечено. Малооблачно
фев. 22	17—7	Сияний не отмечено. Малооблачно
фев. 23	17—20	Сияний не отмечено. Умеренная облачность
	20—07	Сияний не отмечено. Сильная облачность

Наблюдения следует проводить с начала вечерних и до конца утренних сумерек (во время полярной ночи — круглосуточно) с одного и того же места, с возможно более открытым горизонтом в направлении на север и на юг. Рекомендуется организация коллективных наблюдений, что обеспечит их непрерывность. Наружное освещение, если оно мешает наблюдениям, должно, по возможности, выключаться.

Наблюдения проводятся в следующей последовательности. Сначала внимательно осматривается небо, чтобы установить наличие сияния. Если сияние не обнаруживается, то наблюдатели, находящиеся на географической широте меньшей 65°, никаких отметок в бланках не делают. Наблюдатели же, находящиеся на широте 65° и более высокой, в подобном случае оценивают влияние посторонних факторов, затрудняющих поиски сияния, — Луны (в полнолуние), облачности, снегопада, метели и т. п. Если небо безоблачно или покрыто редкими облаками с просветами, а лунный и сумеречный свет не сильно мешают наблюдениям, то отмечается время наблюдений, делается запись «сияний не отмечено» и рядом проставляется оценка облачности. При наличии сияний записи в бланках проводятся раздельно для каждого наблюдения. Объединение записей нескольких наблюдений недопустимо, если даже сияние не изменяется на протяжении длительного времени. При отсутствии сияния можно объединять записи соседних сроков наблюдений до тех пор, пока не появилось сияние. При записи следует строго соблюдать порядок расстановки символов.

Наблюдатели должны стараться, по возможности, выявить и записать все видимые формы сияний. Если на небосводе имеются сияния в различных румбах, то запись следует начинать с сияний, видимых в направлении геомагнитного меридиана. Если же лентообразное сияние наблюдается одновременно в нескольких румбах, включая геомагнитный меридиан, то отмечается только румб геомагнитного меридиана.

При обилии форм во время интенсивных сияний преимущество отдается наиболее ярким формам, а также формам, находящимся в зените и в направлении геомагнитного меридиана. Записи перемещений могут быть в этих случаях ограничены только наиболее характерными, т. е. резко заметными.

Наблюдатели, располагающиеся в зоне полярных сияний, обязаны обращать особое внимание на наличие облачности в зените; наблюдатели, находящиеся южнее этой зоны — на облачность в северной части неба, а севернее зоны — на облачность в южной части неба. В тех случаях, когда сияния видны в просветах между облаками, но определить их форму и точное положение на небе невозможно, отмечается время наблюдений, а форма сияния обозначается буквой N.

Все записи наблюдений ведутся на черновом бланке, а затем переписываются начисто в бланк, предназначенный для отправки в ИЗМИРАН. Чистовые бланки аккуратно заполняются тушью или темными чернилами, так как они будут сдаваться в Мировой геофизический центр для фотокопирования и международного обмена. Образец заполнения бланка приведен на стр. 470. В графе «Время наблюдений» месяц записывается тремя первыми буквами, а дата — календарной датой по московскому времени. Пользование другими системами времени категорически

запрещено, чтобы не вызывать путаницы при обработке наблюдений.

При записях во время наблюдений рекомендуется пользоваться фонариком с красным стеклом, чтобы не терять времени на адаптацию глаз.

Наблюдатели, имеющие регулярную почтовую связь, направляют бланки с записями наблюдений в ИЗМИРАН в течение первой декады каждого месяца. Остальные наблюдатели отсылают их при первой возможности или по окончании сезона наблюдений. Из пунктов, расположенных южнее 65° с. ш., отчетные бланки посылаются только за те месяцы, в которые было хотя бы одно сияние. Если сияний не наблюдалось, то в ИЗМИРАН посылается сообщение об их отсутствии. Из пунктов, расположенных на широте 65° и севернее, отчетные бланки посылаются ежемесячно. При отсутствии сияний в бланках должны быть заполнены графы времени наблюдений и облачности за каждые сутки.

Литература

1. Исаев С. И. Морфология полярных сияний. — М.: Наука, 1968.
2. Исаев С. И., Фельдштейн Я. И. Наблюдения полярных сияний: Инструкция к МГСС. — М.: ВИНИТИ, 1964.
3. Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы.— М.: ИЛ, 1963.

§ 12. Инструкция для наблюдений серебристых облаков

Серебристые облака представляют собой явление, природа которого остается еще не разгаданной. Их характерной особенностью является то, что они наблюдаются только в сравнительно узких широтных поясах северного и южного полушарий. В северном полушарии пояс распространения серебристых облаков ограничивается в среднем широтами 50—75 *). В южном полушарии подобный пояс находится, по-видимому, в более низких широтах (40—60°). Попытки обнаружить эти облака над другими широтами пока не дали положительных результатов.

Серебристые облака появляются только в теплое время года, с мая по август, с редкими случаями появлений в апреле и сентябре. Наибольшая частота появлений серебристых облаков приходится на июль.

Общее количество появлений серебристых облаков в течение сезона из года в год не остается постоянным, но колеблется, достигая изредка 20—30 случаев для одного района.

Науке серебристые облака стали известны в 1885 г., когда на них почти одновременно и независимо друг от друга обратили внимание В. К. Цераский в России и О. Иессе в Германии. Определения высот серебристых облаков показали, что их высота

*) Пояс распространения серебристых облаков следует отличать от пояса их наблюдения, который в северном полушарии ограничен широтами 45—70°.

в среднем равна 80—85 км. С 30-х годов XX в. началось систематическое изучение серебристых облаков в ряде стран (СССР, Норвегия, США, Германия). В самое последнее время в связи с быстрым развитием физики верхних слоев атмосферы Земли проблема серебристых облаков приобрела актуальное значение. Наметилась программа ближайших исследований, состоящая из четырех основных тем:

1 тема. Изучение географического распространения и сезонной частоты появлений серебристых облаков для района данного наблюдательного пункта.

2 тема. Изучение изменений высоты слоя серебристых облаков в целом и отдельных его участков в зависимости от времени суток, сезона и географического положения.

3 тема. Изучение движений серебристых облаков.

4 тема. Изучение оптических свойств серебристых облаков.

Ниже мы остановимся на описании наблюдений, связанных с изучением основных вопросов данной программы.

I. Наблюдения частоты появлений серебристых облаков. Систематические наблюдения появлений серебристых облаков имеют большую научную ценность для изучения общей циркуляции атмосферы Земли и других физических процессов, происходящих в верхних слоях нашей атмосферы.

Для проведения этих наблюдений не нужно специальных приборов, кроме какого-либо простейшего угломерного инструмента. Ценность наблюдений может значительно повыситься при наличии фотоаппарата.

Главным и необходимым условием при наблюдениях серебристых облаков является регулярность ежедневных осмотров утреннего и вечернего сумеречного неба. Тогда наблюдатель привыкает к тонкой игре красок и другим проявлениям сумерек, а также легче распознает всякие происходящие в них изменения. Это особенно важно для обнаружения серебристых облаков малой яркости или в сложных условиях их наблюдения (значительная облачность, слишком ранние или поздние сумерки, наблюдение с самолета и т. п.).

Патрульные наблюдения необходимо вести всем наблюдателям, желающим изучать те или иные свойства серебристых облаков. Наблюдения любителей в данном случае являются наиболее эффективными для науки.

Благодаря большой своей высоте серебристые облака видны с расстояния до 900—1000 км. Этими значениями определяется «радиус действия» каждого наблюдательного пункта. Но для охвата всего пояса возможного появления серебристых облаков необходимо иметь много наблюдательных точек с участием возможно большего числа наблюдателей. Первые опыты наблюдений с помощью организованной сети многих наблюдательных пунктов для патрулирования серебристых облаков проводились в период Международного геофизического года (1957—1959 гг.).

Морфологическая классификация серебристых облаков. Серебристые облака имеют специфическую морфологию (структуру), внешне отличную от всех более низких облаков. Классификация морфологических форм серебристых облаков разделяет их на четыре основных типа.

Тип I. *Флер.*

Это наиболее простая форма серебристых облаков (рис. 179). Отдельно, при отсутствии других форм, флер может заметить

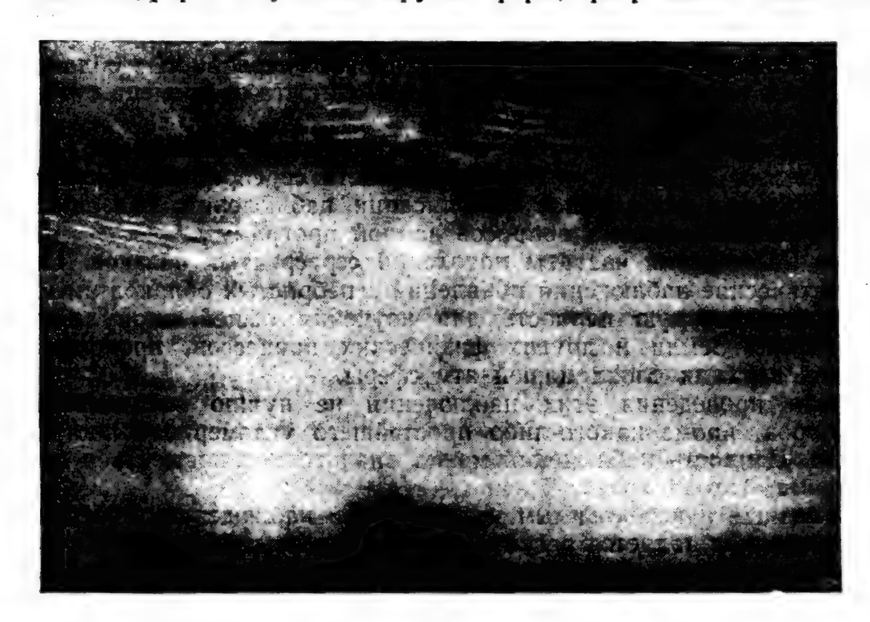


Рис. 179. Серебристые облака типа I. Флер.

только опытный наблюдатель по тонким признакам почти однородного свечения отдельных участков фона сумеречного неба. Однако, заполняя пространство между деталями другого типа, т. е. находясь на фоне более сложных форм, пелена флера очень хорошо обнаруживается благодаря своему туманообразному строению с нежно-белым или голубоватым оттенком. Флер часто предшествует (приблизительно за полчаса) появлению серебристых облаков с более развитой структурой. Часто можно наблюдать, как гребешки и другие детали серебристых облаков появляются в разрывах флера или просвечивают сквозь него.

Тип. II. *Полосы.*

Группа а (II-а). Размытые полосы, расположенные группами, параллельные друг другу или переплетающиеся между собой под небольшим углом. Иногда одна из таких полос наблюдается отдельно, с течением времени полосы мало изменяются по форме (рис. 180). Такие размытые малоподвижные полосы

часто составляют структуру всего поля или господствуют над другими формами, особенно при небольшой яркости и площади распространения серебристых облаков. В тех случаях, когда полосы расположены в направлении луча зрения наблюдателя, отмечается явление перспективной радиации этих полос, т. е.

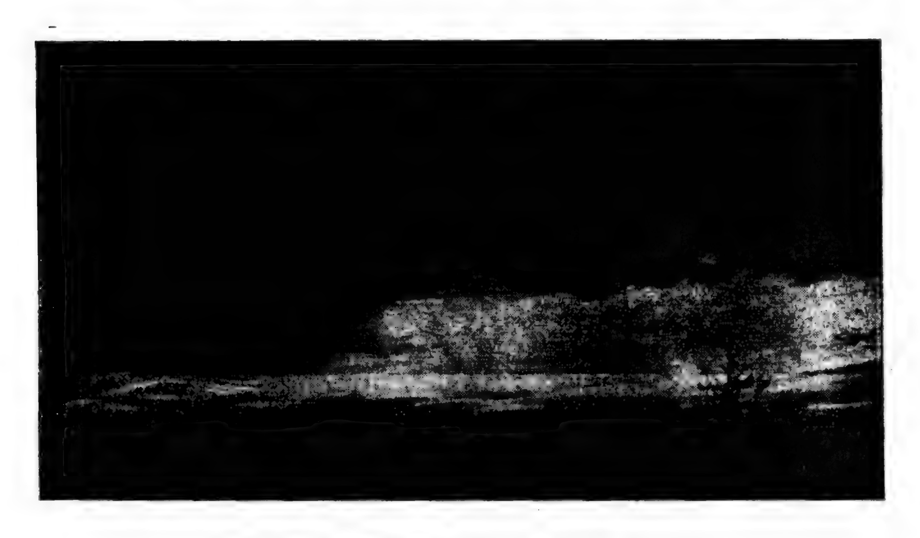


Рис. 180. Серебристые облака типа II-а. Полосы.

полосы как бы расходятся веером из одной удаленной точки, расположенной на горизонте (точка радиации).

Группа б (II-б). Полосы, резко очерченные наподобие узких струек, наблюдаются в основном у серебристых облаков с большой яркостью и при наличии других хорошо развитых форм (рис. 181). Такие полосы (струи) иногда разветвляются на несколько более узких полос. Встречаются струи и в стороне от основного поля серебристых облаков.

Тип III. *Гребешки.*

Группа а (III-а). *Гребешки* — участки с частым расположением узких, резко очерченных, параллельных, обычно коротких полос наподобие легкой ряби на поверхности воды при слабом порыве ветра. Благодаря небольшому расстоянию между соседними полосами, которые составляют гребешки, ребристая поверхность последних для невооруженного глаза имеет почти равномерную яркость (рис. 182).

Группа б (III-б). *Гребни* имеют более четко выраженное неравномерное распределение яркости в поперечном направлении с хорошо заметными признаками волновой природы этих образований. Видимое расстояние между соседними гребнями в несколько раз больше, чем у гребешков. Гребни часто располо-



Рис. 181. Серебристые облака типа II-б. Полосы.

Рис. 182. Серебристые облака типа III-а. Гребешки.

гаются между полосами в поперечном направлении (рис. 183). Тогда часть светящейся массы полос перестраивается на образование гребней. Встречаются гребни и на краю поля серебристых облаков. Группируясь, гребни образуют в этом случае форму птичьего пера.

Группа в (III-в). *Волнообразные изгибы* светящейся поверхности серебристых облаков. Изгибы не составляют индивидуальной формы, они образуются за счет искривления поверхности, занятой другими формами (полосами, гребешками). Подобные



Рис. 183. Серебристые облака типа III-б. Гребни.

изгибы встречаются в серебристых облаках, имеющих большую площадь распространения. Изгибы имеют четко выраженный волновой (фазовый) характер движения (см. рис. 182). Расстояние между соседними гребнями воздушных волн, вызывающих изгибы поверхности серебристых облаков, меняется для ряда случаев в широких пределах.

Тип IV. *Вихри.*

Группа а (IV-а). Завихрения и круглые просветы с малым радиусом (0°,1—0°,5). Завихрениям подвергаются полосы (II), гребешки (III) и иногда флер (I). Степень завихрения детали меняется от десятков градусов к первоначальному направлению до полного скручивания в кольцо с темным пространством в середине, которое иногда из-за внешнего сходства называют «лунным кратером» (рис. 184).

Группа б (IV-б). Завихрение в виде простого изгиба одной или нескольких полос в сторону от основного направления с радиусом в 3—5°. Завихрения часто образуются в серебристых облаках, имеющих полосчатое и струйчатое строение (II-а, II-б,

иногда III-б), сохраняя направление движения полосы, образовавшей вихрь.

Группа в (IV-в). Мощные вихревые выбросы светящейся материи в сторону от основного облака. Это редкое образование в серебристых облаках характерно быстрой изменчивостью своей формы. Крупные завихрения, образуясь в районе расположения других форм, обычно существенно перестраивают и усложняют динамику поля серебристых облаков (ср. рис. 183 и 184).

Внешний вид некоторых форм этой классификации, а в отдельных случаях и механизм развития имеют сходство с отдельными



Рис. 184. Серебристые облака типа IV-а. Вихри.

видами обычных облаков. Так, I тип (флер) внешне напоминает облака перистослоистой формы с туманообразной структурой; II и III типы сравнимы с волнистыми формами перистых облаков.

Условия появления и внешний вид серебристых облаков. Серебристые облака плавают на очень большой высоте, поэтому они подсвечиваются Солнцем, довольно глубоко опустившимся под горизонт. В это время все другие облака уже не освещаются Солнцем и видны на фоне сумерек как темные силуэты (см. рис. 180).

Наилучшие условия видимости серебристых облаков — период так называемых навигационных сумерек, когда Солнце опустилось под горизонт наблюдателя на 6—12°. В это время на слабо освещенном фоне сумеречного неба легко обнаруживаются жемчужно-серебристые массы светящихся облаков. Серебристые облака малой и умеренной яркости лучше всего видны под небольшим углом к их поверхности, т. е. невысоко (5—15°) над горизонтом, но в не-

посредственной близости к горизонту (1—3°) их яркость значительно снижается поглощением в земной атмосфере.

В период астрономических сумерек (отрицательная высота Солнца — $h_{\odot}$ = 6—18°) сумеречное небо занимает только небольшую часть небосвода и ограничено дугой, образуя сумеречный сегмент, который граничит с неосвещенной, ночной частью неба. В азимуте Солнца у горизонта яркость сумерек наибольшая. Границы сумеречного сегмента являются границами освещения, а следовательно, и видимости серебристых облаков. Вечером, с опусканием Солнца под горизонт, уменьшается площадь сумеречного сегмента, и соответственно этому перемещается к горизонту граница видимости серебристых облаков. К утру все это повторяется в обратном порядке. Часто можно наблюдать также естественную границу поля серебристых облаков, занимающих только некоторую часть сумеречного неба.

С помощью бинокля или зрительной трубы с большим полем зрения (бинокуляр, теодолит и т. п.) эти облака могут быть обнаружены на 20—30 минут раньше, чем невооруженным глазом. Появление особенно ярких облаков может быть обнаружено опытным наблюдателем и при небольшом погружении Солнца под горизонт (—$h_{\odot}$ = 4—5°). К утру яркие облака также могут прослеживаться иногда почти до самого восхода Солнца (—$h_{\odot}$ = = 3—4°) в менее яркой стороне неба (в зените или даже в южной части его).

Но, как правило, серебристые облака могут наблюдаться в период погружения Солнца под горизонт от 6 до 18°. По табл. 21 и 22 отдела «Таблицы» наблюдатель может определить для своего пункта время начала и конца этого периода. В случае появления ярких серебристых облаков с хорошо развитой морфологической структурой распознать их довольно легко, а иногда они просто привлекают к себе внимание необычностью вида и света.

Серебристые облака малой яркости и с плохо развитой структурой обнаружить и отличить от обычных облаков значительно труднее. Так же трудно их отличить, когда присутствует только одна форма I или II типа, при небольшой площади их распространения и при частичной облачности, особенно в просветах высоких перистых облаков, которые при небольшом погружении Солнца под горизонт (—$h_{\odot}$ = 5—6°) также подсвечиваются или прямыми лучами Солнца или рассеянным светом сумеречного неба. Здесь очень полезны навык и сообразительность наблюдателя. Факт обнаружения серебристых облаков имеет большое значение, но нужно остерегаться ошибочного отождествления обычных тропосферных облаков с серебристыми.

В сомнительных случаях нужно по таблице проверить, имеются ли необходимые условия освещения, обратить внимание на положение сумеречного сегмента, наличие других типов облаков и их вид на фоне сумерек, присутствие искусственного освещения или Луны, иногда замаскированной земными предметами или

находящейся неглубоко под горизонтом. Затем необходимо внимательно проследить за движением и особенностями морфологического строения наблюдаемых облаков. Обычные облака вскоре себя обнаружат характерной морфологией, более или менее быстрым движением всей массой, значительным или полным поглощением света закрываемых ими звезд. Эти облака более или менее хорошо видны как на фоне ночного, так и сумеречного неба. Только в первом случае они часто бывают ярче фона ночного неба (при подсветке Луной, сумерками и искусственным городским освещением), а во втором — темнее фона сумеречного сегмента.

Время существования серебристых облаков колеблется от нескольких минут до нескольких часов. Появление этих облаков не всегда совпадает с началом сумерек. Обычно они появляются внезапно в какой-либо части до того совершенно чистого и прозрачного сумеречного неба; затем могут распространиться по всему сумеречному небу и увеличить яркость, но могут и исчезнуть через несколько минут, на оставив после себя каких-либо заметных следов.

Период и режим наблюдений. Наблюдения состоят в ежедневном патрулировании сумеречного неба. Время начала и конца наблюдений определяется, как уже было сказано, по таблице. Наилучшим методом является непрерывное наблюдение за фоном неба в течение всего периода сумерек. Тогда глаза наблюдателя, хорошо адаптированные к малым освещенностям, легче могут заметить признаки появления серебристых облаков.

Можно применять и периодические осмотры сумеречного сегмента через каждые 15 минут. В этом случае наблюдатель не сразу приступает к осмотру, а в течение нескольких минут дает возможность глазам приспособиться к сумеречному освещению. Необходимость адаптирования глаз имеет большое значения для своевременного обнаружения серебристых облаков малой и даже умеренной яркости.

Наиболее целесообразным способом освещения рабочего места и журнала записи наблюдений является применение фонаря с красным стеклом (фильтром), который концентрирует свет умеренной яркости только в необходимом направлении. В перерывах между наблюдениями желательно также находиться при умеренном красном или оранжевом освещении. Это способствует обострению зрения наблюдателя. Хорошее зрение особенно важно для наблюдателя серебристых облаков.

В северном полушарии систематические наблюдения серебристых облаков желательно проводить с 1 марта по 31 октября. В этой работе принимают участие наблюдатели всех пунктов, расположенных в поясе широт от 45 до 70—75°.

В высоких широтах (начиная с 60°) в середине лета будет более или менее продолжительный перерыв в наблюдениях, так как Солнце там это время не спускается под горизонт глубже 6° (см. табл. 21, 22 отдела «Таблицы»).

Наблюдательная площадка. Наблюдательная площадка должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Выбранное место должно быть постоянным на весь период наблюдений.

2. Западная, северная и восточная части горизонта должны быть открытыми для наблюдений. Допускается, в крайних случаях, закрытие отдельных частей горизонта (удаленным лесом или строениями) до 2—3° по высоте над линией математического горизонта.

3. Желательно, чтобы рабочее место наблюдателя находилось в укрытии на случай ненастья (в башне обсерватории, специальном павильоне с окнами, открывающимися в сторону горизонта, и т. п.). С рабочего места должны хорошо просматриваться все стороны горизонта.

4. Наблюдательная площадка оборудуется столом для записи наблюдений, фонарем с красным стеклом и угломерным прибором (теодолитом с небольшим увеличением). Для измерения углов можно также использовать какой-либо простой, даже без оптики, угломерный прибор с визирами; точность измерения углов ±0°,5.

5. Наблюдателю необходимо иметь теплую одежду, так как ночью (особенно весной и осенью) часто происходит резкое понижение температуры.

В начале журнала (форма 1), в п. 4 (см. с. 482) необходимо дать краткую, но ясную характеристику основных свойств наблюдательной площадки. Необходимо узнать, где находится наблюдатель (на поверхности Земли под открытым небом или на некотором возвышении — на балконе, крыше обсерватории и т. п.). В последнем случае сообщается высота площадки над окружающей местностью в метрах. Некоторое возвышение (5—10 м) предпочтительно, так как в значительной степени освобождает наблюдателя от приземных туманов и росы. Сообщается также степень открытия горизонта и, особенно, его западной, северной и восточной частей.

Проведение патрулирования. В процессе ежедневного наблюдения сумеречного неба (с целью обнаружения серебристых облаков) через каждые 15 минут, независимо от условий погоды, заполняется журнал по форме 1. Эта форма является основной, и ее ведение обязательно для каждого пункта.

В специальной графе сообщаются число, месяц и год наблюдения. Ввиду того, что дата в полночь меняется, каждая ночь обозначается двумя числами, например: «28—29 июля 1959 г.». Декретное время (графа 2) записывается с точностью до 1 мин. В графу 3 записывается факт наличия («есть») или отсутствия («нет») серебристых облаков. В зависимости от причины их необнаружения нужно несколько по-разному регистрировать этот факт. Если на пункте наблюдения сплошная облачность и сумеречный сегмент вообще не виден, то в графе 3 делается прочерк. Если сумеречное небо видно через небольшие окна в обычных

Форма 1

Журнал патрулирования сумеречного неба и серебристых облаков

1. Наименование наблюдательного пункта (станция ______________________

____

2. Координаты: широта ______________ долгота ______________

3. Адрес пункта ____

____

4. Характер наблюдательной площадки ______________________________

5. Дополнительные данные ______________________________________

____

Дата	Время (декретное)	Серебристые облака			Метеорологические данные			Примечание
		наличие	яркость (по 5-балльной шкале)	присутствующие морфологические формы	закрытие сектора зари обычными облаками	облачность для всего неба		
						общая	нижняя	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

облаках и серебристые облака также не обнаружены, пишется «нет?». Когда фон сумеречного неба совершенно безоблачный, а серебристые облака не видны, отсутствие серебристых облаков обозначается словом «нет!».

В графу 4 записывается оценка яркости серебристых облаков, которая определяется для наиболее ярких участков по 5-балльной шкале:

1 — очень слабые серебристые облака, едва заметные на фоне сумеречного сегмента, обнаруживаются только при очень внимательном осмотре неба;

2 — облака замечаются легко, но имеют очень малую яркость;

3 — облака хорошо заметны, резко выделяются на фоне сумерек;

4 — яркие облака, привлекающие к себе внимание;

5 — исключительно яркие серебристые облака.

В графу 5 записывается сокращенное обозначение наблюдаемых структурных образований облаков, например: II-a, IV-b, слабо III-a, или II-a, III-a, b, c, I и т. п.

Графы 6—9 заполняются на основании наблюдений. Особое внимание уделяется метеорологическим условиям в направлении

сумеречного сегмента, которые записываются в графе 6 по следующей схеме:

А. В стороне зари совершенно ясно.

Б. Небо в стороне зари в той или иной мере покрыто полупрозрачными облаками верхнего яруса (перистые и т. п.).

В. Небо в стороне зари видно лишь частично в просветах между облаками среднего или нижнего яруса.

Г. Имеются просветы в низких облаках, сквозь которые видны участки зари, в свою очередь затянутые облаками верхнего яруса.

Д. Небо в стороне зари полностью закрыто облаками нижнего или среднего яруса.

Облачность общая (графа 7) и отдельно для нижнего яруса (графа 8) оценивается по 10-балльной шкале согласно соответствующей инструкции для метеорологических наблюдений.

По окончании каждого дежурства наблюдатель заверяет своей подписью произведенные записи. Если все наблюдения проводит ежедневно один и тот же наблюдатель, об этом необходимо отметить в начале журнала.

Проведение теодолитных наблюдений. Там, где имеется возможность, нужно проводить угломерные наблюдения серебристых облаков. Запись наблюдений производится по форме 2.

Все угломерные наблюдения выполняются из одной фиксированной точки. Измерения горизонтальных и вертикальных углов ведутся с помощью теодолита. Лучше применять теодолиты с малым увеличением и большим полем зрения трубы.

Форма 2

Журнал теодолитных наблюдений серебристых облаков

1. Дата ______________________

2. Наименование наблюдательного пункта ______________________

3. Система теодолита______________________

4. Наблюдатель ______________________

5. Время декретное (указать пояс) ______________________

6. Начало наблюдения за серебристыми облаками ______________________

7. Момент обнаружения серебристых облаков ______________________

8. Крайние азимуты и высоты поля серебристых облаков ______________________

Время наблюдения	Название точки поля, занятого серебристыми облаками							
	самая высокая		самая нижняя		крайняя правая		крайняя левая	
	высота	азимут	высота	азимут	высота	азимут	высота	азимут

При любительских наблюдениях и в других случаях можно применять самодельные угломерные приборы (из транспортиров с отвесом и т. п.) без оптики, а просто с визирами.

Начальным пунктом отсчета горизонтальных углов (азимутов) является точка севера. Отсчет азимута ведется от 0 до 360° вправо от точки севера к востоку, через юг и запад. Вертикальные углы (высоты) отсчитываются от плоскости горизонта (по уровню) к зениту, т. е. от 0 до 90°.

Если теодолит заранее не установлен относительно небесного меридиана, то его нужно ориентировать относительно нескольких наземных ориентиров, а в следующие дни (в более удобной обстановке) произвести дополнительные наблюдения (Солнца или Полярной звезды) для привязки основных измерений к меридиану.

Целью этих наблюдений является установление крайних видимых границ распространения серебристых облаков. Зная угловую высоту над горизонтом участка серебристых облаков и принимая среднюю высоту их равной 82 км, можно с достаточной точностью определить расстояние до его проекции на поверхность Земли по следующей таблице.

Определение расстояния (D) до проекции серебристых облаков на Землю по их видимой угловой высоте над горизонтом (h)

(Высота серебристых облаков принимается неизменной, равной 82 км)

h	*D*, км	*h*	*D*, км	*h*	*D*, км	*h*	*D*, км
00° 10′	1062	04° 10′	662	08° 10	454	23°	184
20	1035	20	650	20	448	24	176
30	1010	30	639	30	442	25	169
40	987	40	628	40	436	26	162
50	965	50	617	50	430	27	155
01 00	945	05 00	607	09 00	424	28	149
10	926	10	597	10	418	29	143
20	907	20	588	20	412	30	138
30	889	30	579	30	407	31	133
40	871	40	570	40	402	32	128
50	854	50	561	50	397	33	123
02 00	838	06 00	553	10	392	34	118
10	823	10	544	11	363	35	114
20	808	20	536	12	338	36	110
30	793	30	528	13	316	37	106
40	779	40	520	14	297	38	103
50	765	50	512	15	280	39	99
03 00	751	07 00	504	16	264	40	96
10	738	10	496	17	250	41	92
20	725	20	489	18	237	42	89
30	712	30	482	19	225	43	86
40	699	40	475	20	214	44	83
50	686	50	468	21	204	45	80
04 00	674	08 00	461	22	194		

Измеряются также азимуты крайних боковых (правой и левой) границ области неба, занятого серебристыми облаками. Измерения углов производятся с точностью ±0°,5.

Фотографирование серебристых облаков. Фотографировать серебристые облака можно любым фотоаппаратом («Любитель», «Зоркий», «Киев», «Смена» и т. д.) и некоторыми специальными камерами, например фототеодолитами или аэрофотоаппаратами. Продолжительность экспозиции зависит от угла погружения Солнца под горизонт, яркости сумерек, от чувствительности фотоматериалов, светосилы оптики, в некоторой степени от яркости серебристых облаков и от других причин. При относительном отверстии объектива 1 : 2, 1 : 3,5 и чувствительности фотоэмульсии порядка 50—200 единиц по ГОСТ выдержки будут меняться от нескольких секунд до одной минуты.

Наиболее подходящими аппаратами являются камеры с фокусным расстоянием оптики 10—15 см и размером кадра от 9×12 до 18×24 см. В случае применения малоформатных камер («Киев», ФЭД и т. п.) не рекомендуется пользоваться портретными объективами.

В наблюдениях серебристых облаков может принять участие широкий круг любителей. Для того чтобы накопленный ими материал мог быть впоследствии обработан, необходима строгая синхронизация всех фотографических наблюдений серебристых облаков. Для этого необходимо заранее, перед наблюдениями, ввести поправки в показания часов на основе их проверки по сигналам времени и предвычислить начало синхронных экспозиций. Синхронизированные экспозиции необходимо начинать точно в следующие моменты декретного времени:

21 ч 15 мин 00 с
21 » 30 » 00 »
21 » 45 » 00 »
22 » 00 » 00 »
22 » 15 » 00 »

и т. д., — для каждого часа начало каждой экспозиции через 15 мин 00 с. Если есть возможность снимать чаще, то такие промежуточные снимки делаются между этими основными моментами по желанию наблюдателя. Часы желательно применять возможно более точные (лучше всего хронометры) и знать для них поправки на каждый день с максимально возможной точностью.

Укрепив аппарат на постоянном месте и наводя его на интересующую наблюдателя область облачного поля, нужно поставить кадр снимка так, чтобы небольшую часть его занимал видимый горизонт, необходимый при последующей обработке.

На каждом кадре необходимо иметь не менее двух-трех опорных точек, положение которых должно быть измерено теодоли-

том, если это наземные резкоочерченные ориентиры. Для определения масштаба в различных участках снимка нужно этим же фотоаппаратом снять или участок местности со многими измеренными точками, или определенный участок звездного неба.

Запись наблюдений ведется по форме 3.

Форма 3

Журнал фотографирования серебристых облаков

1. Дата ____________ 2. Наблюдатель ____________

3. Часы (марка) ____________ 4. Поправка часов ____________

5. Тип фотоаппарата ____________

6. Объектив (марка) ____________

относительное отверстие ____________

фокусное расстояние ____________

7. Сорт и светочувствительность фотоматериала ____________

№ снимка	Выдержка		Направление съемки по оптической оси		Светофильтр	Примечание
	начало	продолжительность	азимут	высота		

После проявления в журнал нужно записать тип и состав проявителя, время проявления и температуру растворов, а также основные свойства полученных негативов (контрастность, проработка деталей облаков, правильность выбранной экспозиции и т. п.). Негативы нужно тщательно хранить в специальной упаковке и оберегать от нанесения царапин и других повреждений.

Фотографические наблюдения являются ценным дополнением к визуальным наблюдениям, и их нужно применять там, где это возможно. Отметка времени фотографирования производится с точностью ± 1—2 с.

II. Определение высоты серебристых облаков. Для определения высоты серебристых облаков обычно применяется метод одновременного фотографирования одного и того же участка поля серебристых облаков из двух базисных пунктов, удаленных друг от друга на несколько десятков километров. Наиболее пригодны для этой цели фотокамеры с возможно более длиннофокусной оптикой (20—50 см). Портативные камеры (ФЭД, «Киев» и т. п.)

также пригодны, но они дают малую точность определения высоты. Кроме того, на каждом базисном пункте необходимо иметь хорошие часы, а лучше — хронометр.

Методически базисная съемка серебристых облаков может быть поставлена одним из следующих способов.

Первый способ. Радио- и телефонная связь отсутствует. На каждом пункте имеется по одному фотоаппарату на азимутальных штативах.

Наблюдатели заблаговременно договариваются о порядке базисной съемки в случае появления серебристых облаков. Предварительно горизонт каждого пункта делится, с учетом угла поля зрения аппарата, на несколько румбов так, чтобы края соседних зон слегка (на 5—10°) перекрывались. Каждый румб на одном и другом пункте получает какое-либо условное обозначение. Оптические оси аппаратов, установленных на одноименные румбы, должны быть по возможности параллельными в пространстве.

Устанавливается определенное время начала выдержек для съемки в каждом румбе. Например, при трех румбах для начала фотографирования может быть принят такой порядок:

	Румб I	Румб II	Румб III
Серия 1	$23^h00^m00^s$	$23^h05^m00^s$	$23^h10^m00^s$
2	15 00	20 00	25 00
3	30 00	35 00	40 00
4	45 00	50 00	55 00
5	$0^h00^m00^s$	$0^h05^m00^s$	$0^h10^m00^s$
и т. д.			

В случае появления серебристых облаков одновременно в нескольких или во всех румбах каждый наблюдатель, повертывая аппарат по азимуту, самостоятельно ведет фотографирование согласно принятому расписанию, охватывая все направления. Конкретные моменты съемки по часам должны быть предвычислены перед наблюдениями на каждом пункте с учетом поправок и хода часов, определяемых по радио.

В случае появления серебристых облаков небольшой протяженности по азимуту порядок съемки упрощается. Фотографирование ведется в одном румбе, соответствующем азимуту серебристых облаков, на каждом пункте в моменты, предусмотренные расписанием. Впрочем, на такой случай наблюдатели могут предварительно договориться о более частом фотографировании, например через каждые пять минут согласно расписанию, установленному для других румбов.

Само фотографирование должно производиться в соответствии с указаниями, приведенными выше.

Второй способ. В наличии достаточное количество однотипных фотоаппаратов. На каждом пункте они устанавливаются неподвижно с перекрытием поля зрения соседних аппаратов на 5—10°.

Ориентировка оптических осей аппаратов производится так же, как в первом способе.

Расписание моментов начала выдержки для каждого аппарата может быть принято иное. Например, если устроить механизацию одновременного открытия затворов во всех аппаратах на каждом пункте (см. с. 494), то расписание можно значительно упростить.

Третий способ. Имеется надежная телефонная или радиосвязь между наблюдательными пунктами. В этом случае работа значительно упрощается. Один (главный) наблюдательный пункт по радио или телефону путем подачи заблаговременно установленных команд управляет работой наблюдателей на базисном пункте. При этом часы могут быть только на одном главном пункте. Необходимость заблаговременного установления расписания экспозиций отпадает.

Четвертый способ. Имеется хорошая геодезическая подготовка наблюдателей и соответствующее геодезическое оборудование. Базисная съемка ведется с помощью фототеодолитов. Производится соответствующая геодезическая привязка на местности к отдельным искусственным (специально выставленным) или естественным наземным ориентирам. Фототеодолиты на каждом базисном пункте ориентируются так, чтобы их оптические оси во время съемки были строго параллельны. Организация самой съемки может осуществляться в зависимости от возможностей одним из трех ранее описанных способов.

Кроме фототеодолитов могут применяться также топографические аэрофотоаппараты, установленные, как во втором способе, неподвижно. Их оптические оси также устанавливаются параллельно друг другу в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Одновременные фотографии с базисных пунктов, полученные четвертым способом, являются стереопарами, пригодными для рассматривания в стереоскоп и стереофотограмметрической обработки.

Техника и математическая сторона обработки наблюдательного материала описаны в статьях, указанных в списке литературы в конце инструкции.

III. Изучение движений серебристых облаков. Серебристые облака представляют собой наиболее удобное средство изучения динамических свойств верхней стратосферы. В периоды появления серебристых облаков создаются благоприятные возможности одновременного наблюдения разного рода движений сравнительно тонкого слоя стратосферы на площади до нескольких тысяч, а иногда и миллионов квадратных километров.

На практике применяются фотографический и визуальный способы измерения скорости дрейфа серебристых облаков. Пер-

вый из них требует получения серии отдельных фотографий серебристых облаков с интервалом в несколько минут. Недостаток этого метода заключается в том, что по отдельным фотографиям чрезвычайно трудно, а иногда совершенно невозможно проследить сложную картину непрерывных движений даже небольшого участка серебристых облаков. Поэтому необходимо применение такого средства исследований, которое позволило бы выявить более полную кинематическую картину изучаемого поля серебристых облаков. Таким средством является замедленная киносъемка, которая позволяет медленно протекающие в природе процессы наблюдать на экране ускоренными во много раз.

Развитие любительской кинематографии в СССР заставляет нас всемерно рекомендовать кинолюбителям использовать имеющиеся у них возможности для киносъемки серебристых облаков.

Киносъемку серебристых облаков можно производить любым киноаппаратом на 35- или 16-миллиметровую пленку. Для этой цели пригодны всевозможные любительские камеры, репортерские (КС-50/Б), а также профессиональные — КС-21, ПСК-21, «Аскания» и пр. Привод камер осуществляется от электромоторов через раферные или цейтраферные редукторные приставки. Скорость съемки с помощью этих приставок замедляется до одного кадра в 5—10 с.

В крайнем случае замедленную покадровую съемку можно осуществлять от руки по секундомеру, вращая ручку мультхода или соответствующим образом размеченным поворотом скоростной ручки обеспечивая смену очередного кадра. Цейтраферный способ наиболее удобен, если только он осуществляется специальным механическим редуктором с мотором и контактными часами.

С течением времени яркость сумеречного неба и серебристых облаков меняется. Обычно съемка начинается с вечера, и вся ночь снимается на одну пленку. Для охвата большого диапазона яркостей объекта приходится менять угол раствора обтюратора или диафрагму объектива. Однако злоупотребление последним приемом нежелательно, а иногда его применение просто недопустимо (если ставится задача получить фотометрически однородную пленку). Эти обстоятельства приводят к необходимости применения фотоэмульсии с большой широтой и достаточной светочувствительностью.

Во всех случаях должны быть соблюдены два условия, а именно: скорость съемки выдерживается постоянной в течение всей ночи и все кадры пленки должны быть «привязаны» ко времени. Для этого во время съемки (не останавливая вращения ручки) периодически через 20—30 минут заслонкой закрывается объектив камеры. В результате на фильме получаются два-три светлых (неэкспонированных) кадра. Закрытие объектива начинается в момент начала экспонирования кадра, и заслонка открывается перед началом экспонирования одного из следующих кадров. Если через некоторое время повторить то же самое, то

можно с точностью ±1 с отметить время начала и конца экспонирования каждого кадра этого промежутка.

Заблаговременно, до появления серебристых облаков, кинокамера устанавливается на определенное постоянное место на наблюдательной площадке. Штатив должен обеспечивать легкий поворот камеры во все стороны возможного появления серебристых облаков. Специальный столик или держатель служат для размещения раферной или цейтраферной приставки (редуктора). При вращении камеры на штативе всегда небольшая часть кадра должна быть заполнена неподвижными земными предметами. Это впоследствии значительно облегчит обработку фильма.

Для приобретения навыка и выбора правильной экспозиции чрезвычайно полезно произвести некоторые тренировочные съемки сумеречного неба при погружении Солнца под горизонт на 6—12°, а также замедленную съемку обычных тропосферных (волнистых и перистых) облаков.

Одновременно с киносъемкой производится крупномасштабное фотографирование тех же участков серебристых облаков. Интервалы времени между соседними снимками — от 1 до 5 минут. Это целесообразно для параллельной обработки с переходом от измерений на кинокадре (1,6×2,1 см) к измерениям по крупномасштабным снимкам (9×12 см и 18×24 см).

Киносъемка производится так, что каждый кадр включает в себя достаточное количество опорных неподвижных точек, специально выставленных вдоль горизонта в азимутах возможного появления серебристых облаков. С места установки каждого аппарата теодолитом определяются горизонтальные координаты (азимут и угловая высота) всех опорных точек.

IV. Фотографическая фотометрия, поляриметрия и колориметрия серебристых облаков. Основной задачей фотометрии, поляриметрии и колориметрии серебристых облаков является изучение отражательных (или рассеивающих) свойств частиц, образующих серебристые облака. Наблюдения сводятся к определению фотографическим путем абсолютной или относительной яркости различных точек поля серебристых облаков в широком спектральном диапазоне либо в выбранных отдельных узких участках длин волн, к оценке индикатрисы рассеяния их частиц, к вычислению цветовых коэффициентов, степени поляризации и положения плоскости поляризации (в функции угла рассеяния) их излучения. Результаты таких наблюдений могут быть использованы для суждения об альбедо, количестве, размерах, форме и физической природе частиц, образующих серебристые облака. Фотометрические и поляриметрические наблюдения серебристых облаков проводились в ряде отделений ВАГО. При наличии необходимых приборов они доступны каждой группе любителей астрономии.

Вследствие большой трудоемкости фотометрических, поляриметрических и колориметрических наблюдений серебристых облаков подготовку к организации таких наблюдений следует про-

водить только в тех районах, где серебристые облака достаточно часто наблюдаются, т. е. в полосе широт от 50 до 60° (ориентировочно). Подготовка к наблюдениям включает подготовку и испытание приборов, изготовление ряда приспособлений к ним, оборудование фотографической и фотометрической лабораторий.

Выполнение фотографических, фотометрических, поляриметрических и колориметрических наблюдений имеет много общего, поэтому методику таких наблюдений удобно рассматривать одновременно.

Методика проведения наблюдений. Для проведения наблюдений должна быть выбрана удобная наблюдательная площадка, желательно к северу от населенных пунктов, с открытым горизонтом в направлениях «восток—север—запад».

На горизонте наблюдательной площадки обязательно наличие достаточного количества постоянных ориентиров с известными горизонтальными координатами, измеренными с точностью до 1′ с помощью теодолита или других имеющихся в распоряжении наблюдателя приборов. Для всех приборов на площадке должны быть установлены столы или столбы.

Средне развитое поле серебристых облаков имеет обычно протяженность по азимуту от 30 до 100°; отдельные детали облаков могут наблюдаться на высоте до 20—25° над горизонтом. Фотографические аппараты, предназначенные для съемки серебристых облаков, должны иметь достаточное поле изображения для того, чтобы получить на одном снимке если не всё, то по крайней мере большую часть поля серебристых облаков. Удобными в этом отношении оказываются камеры с нормальными объективами, диагональ кадра которых охватывает угол в 45—55°. Применение камер с широкоугольными объективами (угол поля изображения 75—135°) нежелательно, так как эти объективы дают большую фотометрическую ошибку поля. Для удобства обработки снимков следует пользоваться камерами, имеющими небольшие линейные размеры кадра. Аппаратами, удовлетворяющими всем перечисленным требованиям, являются аппараты с размером кадра 6×6 см или 6×9 см («Салют», «Москва», «Турист», «Любитель», «Спутник» и др.). При отсутствии таких камер съемку серебристых облаков можно выполнять на малоформатных камерах ФЭД, «Зоркий», «Зенит» и т. д., либо на любых имеющихся в распоряжении наблюдателя аппаратах.

Для фотометрических наблюдений серебристых облаков достаточно иметь один аппарат, для поляриметрических и колориметрических наблюдений необходимо наличие не менее трех совершенно однотипных аппаратов. Эти аппараты должны быть снабжены узкополосными светофильтрами для колориметрии и анализаторами для поляриметрии, которые крепятся перед объективами камер. В качестве анализаторов могут быть использованы выпускаемые нашей промышленностью и имеющиеся в продаже поляризационные светофильтры, надеваемые на объективы ка-

мер. На первой камере поляроид устанавливается так, чтобы плоскость его поляризации была вертикальна; плоскости поляризации поляроидов на второй и третьей камерах устанавливают на 60° в стороны от этого положения (рис. 185). При таких положениях поляроидов значительно упрощается обработка полученных снимков.

Аппараты во время наблюдений устанавливаются большой стороной кадра параллельно горизонту так, чтобы внизу кадра получалась узкая полоска горизонта с имеющимися на нем ориентирами. При колориметрической и поляриметрической съемке оси всех трех камер устанавливаются параллельно. Если фотометрическая съемка серебристых облаков ведется одним аппаратом, то различные части поля серебристых облаков снимаются

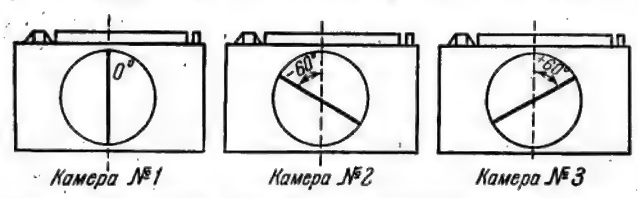


Рис. 185. Положение плоскостей поляризации поляроидов на камерах в рабочем положении.

по очереди; при наличии большего количества аппаратов необходимо организовать панорамную съемку серебристых облаков. При панорамной съемке оптические оси камер развертываются по азимуту веером с перекрытием кадров соседних камер в 5—10°. Панорамная и поляриметрическая съемки серебристых облаков могут вестись на одних и тех же камерах, если установка для аппаратов позволяет закреплять камеры в двух различных фиксированных положениях: на поляриметрическую съемку (оси камер параллельны) и на панорамную съемку (оптические оси камер веером) (рис. 186).

При выполнении наблюдений должна строго соблюдаться аккуратность в работе. Недопустимо загрязнение, попадание пыли или влаги на оптические детали камер. Большие неудобства во время съемки возникают в связи с выпаданием росы. Для борьбы с росой во время экспонирования на объективы камер необходимо надевать защитные конусы (для этой цели могут быть использованы солнечные бленды), в перерывах же между экспозициями следует закрывать специальным чехлом все аппараты либо надевать крышки на объективы. При съемке с надетыми на объективы светофильтрами выпавшую росу с последних можно удалить чистыми фланелевыми тампонами. Касаться поверхности объективов аппаратов категорически воспрещается.

Моменты середины экспозиций при фотографировании серебристых облаков должны отмечаться с точностью не менее 0,1 мин. Для того чтобы обеспечить такую точность, поправки рабочих

часов необходимо определять в течение всего периода наблюдений по радиосигналам ежедневно не менее трех раз, например: в 7, 13 и 19 часов. На пункте наблюдений желательно иметь хронометр.

При фотографировании серебристых облаков с поляроидами или светофильтрами необходимо использовать фотоматериалы высокой чувствительности (90—130 ед. и более). Для того чтобы не вводить поправки за различную продолжительность выдержки, съемку серебристых облаков следует проводить при одной и той же постоянной выдержке, меняя в зависимости от яркости снимаемых облаков действующее отверстие объектива камеры — диафрагму. В этом случае все имеющиеся на аппарате и применяемые для работы диафрагмы должны быть фотометрически прокалиброваны. Для этой цели в лабораторных условиях необходимо снять равномерно освещенную поверхность при различных значениях диафрагм и постоянной выдержке. Съемка производится при установке объектива на бесконечность, снимаемая поверхность устанавливается от аппарата на расстоянии не менее 100 фокусных расстояний объектива. Освещенность ее поддерживается строго постоянной. Полученные таким образом и прокалиброванные снимки дадут при обработке калибровку диафрагмы.

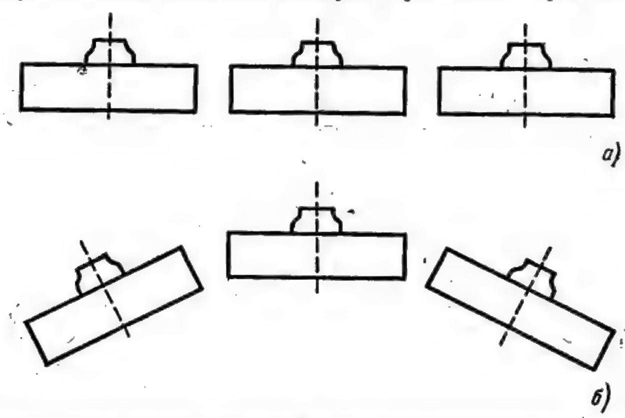


Рис. 186. Положение оптических осей камер при поляриметрической (*а*) и панорамной (*б*) съемке.

Продолжительность экспозиции при съемке серебристых облаков должна выдерживаться с возможно большей точностью, для чего производить ее следует либо с помощью отбивающего секунды метронома либо с помощью секундомера. Наиболее удобной оказывается выдержка в 30 секунд. Перемену диафрагм в процессе выполнения наблюдений серебристых облаков следует определять из опыта для каждого сорта фотоматериалов отдельно, табулируя их в зависимости от углов погружения Солнца под горизонт. Наиболее удобными для фотометрической обработки являются

снимки средней плотности, в обычной фотографической практике называемые «слегка недодержанными». Необходимо стремиться к получению именно таких снимков.

При поляриметрической и колориметрической съемке экспозиция на трех камерах должна проводиться строго одновременно и одинаковой продолжительности. Для этой цели удобно изготовить специальное приспособление, в котором тросики от всех трех камер нажимались бы одновременно (рис. 187).

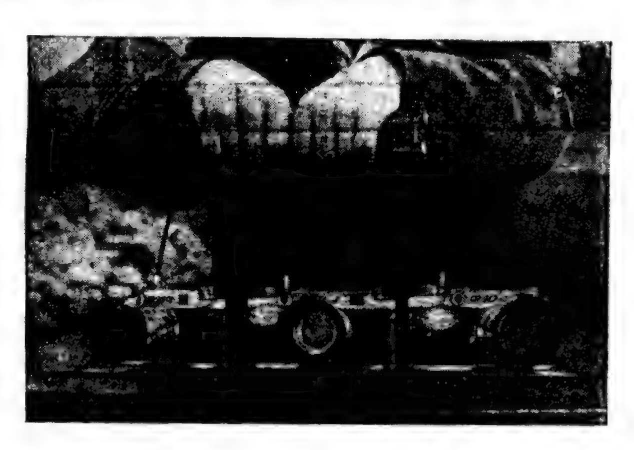


Рис. 187. Устройство для одновременного производства экспозиции на трех камерах (панорамная съемка).

Малейшее различие в продолжительности экспозиций на каждой из трех камер, различие в пропускании оптики аппаратов, чувствительности фотоматериалов, режимов обработки снимков и т. д. может привести при поляриметрической съемке облаков к обнаружению ложной поляризации. Для того чтобы этого избежать, одновременно со съемкой серебристых облаков необходимо проводить на всех камерах съемку миры, устанавливаемой на расстоянии 10—15 м перед аппаратами. Изображение миры должно получаться на снимке на 2—3° выше линии видимого горизонта. Мира представляет собой ящик, с одной стороны которого расположен белый просвечивающий экран размером около 20×20 см (матовое или молочное стекло, несколько слоев равномерной на просвет бумаги), с другой стороны — несколько ламп накаливания, равномерно освещающих этот экран (рис. 188). Питание ламп накаливания производится от сети или от батарей через реостат, с помощью которого можно

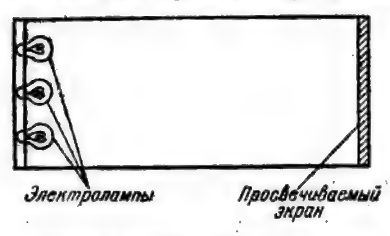


Рис. 188. Схема устройства миры.

менять яркость миры в зависимости от диафрагмы, с которой производится съемка серебристых облаков. На реостате имеется миллиметровая шкала, по которой отмечается положение ползунка реостата. Установка ползунка табулируется из опыта в зависимости от диафрагмы аппарата и углов погружения Солнца под горизонт. Свет миры должен быть обязательно естественным, для чего перед работой она должна быть тщательно проверена с точки зрения отсутствия поляризации излучения просвечиваемого экрана. Это может быть сделано одним из способов, подробно описанных в литературе.

Использование миры с известными цветовыми коэффициентами для применяемых фильтров весьма полезно и при колориметрической съемке. Однако точное нахождение указанных цветовых коэффициентов (при различных положениях движка реостата) представляет собой довольно трудную задачу, вряд ли выполнимую при отсутствии специального оборудования.

Лабораторная обработка фотоснимков. Так же как и во время наблюдений, полная аккуратность должна непременно соблюдаться и при лабораторной обработке полученных снимков. Негативы, частично засвеченные, неравномерно проявленные, загрязненные, имеющие налеты, подтеки, пятна, царапины, пузыри, вуаль, ореолы, для фотометрической обработки непригодны. Для того чтобы избежать всех перечисленных дефектов на снимках, лабораторную обработку негативов следует проводить только в хорошо оборудованных условиях. Особое внимание следует обратить на чистоту используемой воды, используемых химикалиев, строгое соблюдение температурного режима обработки, тщательность промывки, правильность сушки негативов. В качестве последней ванны желательно использовать дистиллированную воду, в противном случае перед сушкой с негативов необходимо мягким тампоном снять все капли воды.

Качество изображения во многом зависит от рецептов проявляющего и фиксирующего растворов. Для каждого сорта пленок или пластинок необходимо на опыте подбирать из имеющихся в справочниках рецептов состав проявителя, дающий наилучшие результаты. В качестве одного из лучших рецептов можно рекомендовать мелкозернистый проявитель следующего состава:

Метол	7,5 г
Сульфит натрия безводный	100 г
Вода дистиллированная	1 л

Время проявления — 20 минут при $t = 20$ °C. Температуру и время проявления следует выдерживать с возможно большей точностью. Каждую отдельную пленку или пластинку следует проявлять в свежем растворе. Повторное проявление в одном растворе и тем более применение подкрепляющих растворов недопустимы, так как при этом качество проявления снижается.

Промывку негативов после проявления следует также производить каждый раз в свежей воде, лучше дистиллированной.

В качестве фиксирующего раствора лучше всего применять простой фиксаж следующего состава:

Гипосульфит	250 г
Вода дистиллированная	1 л

Применение быстродействующих фиксажных растворов недопустимо, так как они несколько ослабляют проявленное изображение. Фиксирование следует проводить в темноте до полного исчезновения невосстановленных солей серебра, в противном случае на негативе образуются подтеки. Снимки, предназначенные для фотометрической обработки, ни в коем случае не усиливаются и не ослабляются.

Следует отметить, что при проявлении роликовой пленки в фотобачках условия проявления внутренних и наружных витков спирали резко различаются. Поэтому следует либо избегать проявления пленки в фотобачках либо располагать калиброчные засветки во многих местах по всей длине пленки.

Калибровка снимков. Все снимки, полученные для фотометрии, поляриметрии, колориметрии и спектрофотометрии серебристых облаков, должны быть калиброваны. Тем или иным способом участки пленки засвечиваются светом, создающим известную освещенность на негативе в любой, хотя бы относительной системе единиц. Спектральный состав излучения, используемого для калибровки фотометрических и поляриметрических снимков, должен быть близок к спектральному составу свечения серебристых облаков. Интервал освещенностей должен перекрывать интервал плотностей фотоматериала, т. е. самая слабая засветка должна только намечаться, а самая плотная должна быть передержана.

После проявления и обработки на микрофотометре имеющихся на калибровочных снимках засветок мы будем иметь для каждого известного значения освещенности на негативе, т. е. для каждого известного значения яркости снимаемого объекта, соответствующее ему почернение на снимке. По этим значениям строится калибровочная или характеристическая кривая фотоматериала, где значения оптических плотностей на снимке (D) откладываются в зависимости от логарифма экспозиции ($\lg H$).

Под оптической плотностью понимается величина

$$\Phi_0/\Phi,$$

где Φ_0 — падающий на исследуемый участок негатива световой поток, Φ — пропущенный этим участком световой поток. Соответственно, экспозиция

$$H = E \cdot T,$$

где E — освещенность, создаваемая на поверхности эмульсии негатива во время фотографической съемки, T — продолжительность съемки.

Каждый отдельный снимок серебристых облаков или участок пленки с несколькими снимками должны иметь собственные независимые калибровочные шкалы, печатаемые на тех же кусках пластинок или пленок и проявленные вместе со снимками серебристых облаков.

Наилучшим прибором для получения калибровочной шкалы при фотографической фотометрии, поляриметрии и колориметрии является трубчатый фотометр. При отсутствии трубчатого фотометра калибровочные шкалы могут быть получены также печатанием на негативе ступенчатого ослабителя с известными коэффициентами пропускания полей или клина с известной постоянной. При съемке малоформатными или другими камерами на роликовую пленку необходимо иметь ряд калибровочных засветок по всей длине пленки, для чего желательно иметь такое калибровочное приспособление, которое позволяло бы впечатывать калибровочные шкалы, не разряжая аппарата. Такая калибровка может быть произведена путем съемки фонаря, в передней стенке которого установлен просвечиваемый ступенчатый ослабитель или клин. Устройство калибровочного фонаря (рис. 189) аналогично устройству миры, ступенчатый ослабитель или клин устанавливается до или после просвечиваемого экрана. Калибровочный фонарь во время работы устанавливается перед аппаратом на расстоянии 5—10 м и через определенное число кадров производится его съемка. При поляриметрической съемке серебристых облаков калибровочный фонарь и мира могут быть объединены в одном приборе, так как калибровочный фонарь, снимаемый всеми тремя аппаратами одновременно со съемкой серебристых облаков, выполняет и функции миры. Экспозиция при получении калибровочных засветок должна быть такой же, как и при съемке исследуемого объекта, т. е. 30 секунд.


Рис. 189. Калибровочный фонарь в лаборатории.

Для того чтобы иметь возможность сравнить между собой результаты, полученные из обработки различных негативов, калибровочные засветки необходимо проводить при определенных, строго одинаковых условиях. Режим работы ламп накаливания при получении засветок от трубчатого фотометра или калибровочного фонаря должен контролироваться с помощью прецизион-

ного вольтметра или амперметра класса не ниже 0,5 и поддерживаться постоянным с помощью включенного в цепь реостата. При работе с трубчатым фотометром расстояния от ламп до экрана и от экрана до трубчатого фотометра, а также положение установки в помещении, если она открытая, не должны меняться в течение всего периода наблюдений. При печатании засветок в лаборатории всякий посторонний свет должен быть устранен. При калибровке от фонаря на наблюдательной площадке во время съемки облаков должна учитываться освещенность, создаваемая рассеянным светом неба. Для этого небольшой участок просвечиваемого экрана фонаря заклеивается со стороны ламп черной бумагой и выделяется снаружи. При работе он будет освещаться только рассеянным светом неба. Альбедо различных полей калибровочного фонаря по отношению к этому стандартному полю определяются съемкой фонаря с выключенными лампами накаливания в условиях, близких к условиям наблюдений серебристых облаков.

Таким образом, калибровочные засветки дадут нам фотометрическую систему, которая не будет меняться от одного снимка к другому, и будет служить вторичным эталоном для связи снимков, полученных на разных негативах.

Фотометрическая стандартизация. Прокалибровав все снимки серебристых облаков, мы сможем выразить яркость их отдельных точек в условной системе единиц, связанной с нашей калибровочной шкалой. Но для того чтобы выразить яркости точек серебристых облаков в какой-либо абсолютной системе единиц, необходимо еще определить нуль-пункт нашей условной системы в выбранной системе абсолютных единиц, т. е. провести фотометрическую стандартизацию полученных снимков. Сущность фотометрической стандартизации сводится к определению в единицах нашей условной системы яркости какой-либо поверхности, которая известна в абсолютной системе, причем тем же способом, на тех же приборах и фотоматериалах. Так как свечение серебристых облаков вызывается излучением Солнца, то удобнее всего сравнивать яркости различных точек серебристых облаков с яркостью абсолютно белой поверхности, расположенной нормально к солнечным лучам на границе земной атмосферы в каждый день наблюдений. Яркости отдельных точек облака, выраженные в такой системе единиц и исправленные за атмосферное поглощение, будут давать альбедо этих точек.

Стандартизацию можно проводить с помощью специально изготовленной насадки, надеваемой на объектив фотоаппарата или спектрографа (рис. 190). Стандартизационная насадка (рис. 191) состоит из трубки, по диаметру несколько большей диаметра оправы объектива, на одном конце которой расположено молочное стекло. Этим концом насадка надевается или навинчивается на оправу объектива. На расстоянии не менее 100 мм от первого молочного стекла устанавливается малая диафрагма,

за которой устанавливается второе молочное стекло. Расстояние от второго молочного стекла до конца насадки должно быть порядка 200 мм; эта часть насадки предохраняет второе молочное стекло от попадания на него рассеянного света неба. По всей длине насадки устанавливаются кольцевые диафрагмы, препятствующие попаданию на молочные стекла и в объектив аппарата света, отраженного от стенок насадки. Диаметр малой диафрагмы подбирается на опыте так, чтобы равномерные засветки, получаемые на снимках, были средней плотности. Зная коэффициенты пропускания молочных стекол, диаметр малой диафрагмы и расстояние ее от первого молочного стекла, можно рассчитать освещенность, создаваемую на негативе, и таким образом, стандартизовать полученные снимки.

Все стандартизационные засветки должны быть обязательно снабжены калибровочными засветками, полученными в тех же условиях, что и засветки для снимков серебристых облаков. По этим калибровочным засветкам и будет определяться освещенность белого экрана или засветок от стандартизационной насадки в условной системе единиц.



Рис. 190. Стандартизационная насадка в рабочем положении.

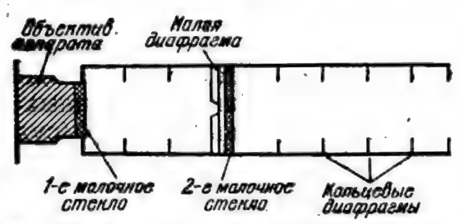


Рис. 191. Схематический рисунок устройства стандартизационной насадки.

Учёт атмосферного ослабления. Лучи света при прохождении через земную атмосферу испытывают ослабление, зависящее как от длины пути луча в атмосфере и максимальной глубины его погружения, так и от состояния атмосферы в момент наблюдений. Все фотометрические наблюдения облаков и наблюдения Солнца с целью стандартизации снимков должны быть исправлены за атмосферное ослабление. Для этого в течение всего периода наблюдений необходимо проводить специальные наблюдения за атмосферной прозрачностью, которые могут выполняться с помощью тех же приспособлений, что и стандартизационные наблюдения.

Освещенность $E_н$, создаваемая Солнцем, находящимся на зенитном расстоянии z, на расположенной нормально к солнечным лучам площадке, и определенная в нашей условной системе единиц с помощью описанных выше приспособлений, будет равна $E_н = E_0 p^{M_z}$, где E_0 — освещенность, создаваемая Солнцем при отсутствии земной атмосферы, p — коэффициент прозрачности земной атмосферы, M_z — воздушная масса (при $z < 75°$ $M_z \approx \approx \sec z$, [при $z \gg 75°$ M_z дается в таблицах Бемпорада; см. табл. 17 в разделе «Таблицы»).

Логарифмируя выражение для $E_н$, получим

$$\lg E_н = \lg E_0 + M_z \lg p.$$

Для того чтобы определить коэффициент прозрачности земной атмосферы p, необходимо проводить наблюдения Солнца при различных зенитных расстояниях через равные промежутки воздушных масс (ΔM_z должны составлять от 0,3 до 0,5). После обработки наблюдений мы сможем изобразить на графике в виде точек полученные значения $\lg E_н$ как функции M_z. Через эти точки проводится прямая линия, называемая *бугеровской*. Угловой коэффициент этой линии и будет равен $\lg p$. Проведя бугеровскую линию до пересечения с осью ординат, мы получим значение $\lg E_0$. Среднее значение освещенности от Солнца E_0 при отсутствии земной атмосферы, определенное из многих измерений в течение всего периода наблюдений, и будет нами использовано для стандартизации полученных снимков.

Все приведенные выше рассуждения для Солнца справедливы и для других астрономических объектов, в частности, и для отдельных точек серебристых облаков. Но при наблюдениях серебристых облаков мы должны определять атмосферное поглощение из наблюдений какого-то другого светила. Удобнее всего для этого воспользоваться Солнцем.

Серебристые облака обычно наблюдаются при $z \gg 75°$, где никакие таблицы воздушных масс не дают достаточно точных данных. Поэтому при наблюдениях серебристых облаков необходимо определить не только коэффициент прозрачности атмосферы p, но и табулировать из наблюдений для каждого дня наблюдений воздушные массы в азимутах, близких к азимуту возможных наблюдений облаков. Удобнее всего прямо определять коэффициент пропускания атмосферы $T_z = p^{M_z}$, как функцию зенитного расстояния.

Определять T_z мы будем из наблюдений Солнца. Для этого Солнце необходимо наблюдать вечером вплоть до захода и утром начиная с самого восхода, также через равные промежутки воздушных масс. Обработав эти наблюдения, мы сможем, пользуясь одним из ранее написанных соотношений, определить коэффициент пропускания земной атмосферы $T_z = E_н/E_0$ для разных z для каждого вечера или утра наблюдений. Построив график T_z,

мы сможем в дальнейшем снять с него значения T_z для любого зенитного расстояния.

Наблюдаемая яркость точек облака $B_н$ равна $B_н = B_0 \cdot T_z$, где B_0 — яркость точек облака при отсутствии поглощения света на пути луча от облака к наблюдателю. Если мы знаем T_z, то B_0, очевидно, найдется из выражения $B_0 = B_н/T_z$, причем $B_0 \gg B_н$, так как $T_z < 1$.

Во время обработки выполненных наблюдений, как правило, придется учитывать атмосферное ослабление не только на пути луча от облака к наблюдателю, но и на пути его до попадания на частицы облака. Учет этого ослабления не требует постановки специальных наблюдений, поэтому в настоящей инструкции он не рассматривается. Порядок его вычисления может быть найден в приведенной в конце инструкции литературе [2].

Исследование аппаратуры. Помимо фотометрической калибровки диафрагм аппаратов, для каждого аппарата в отдельности необходимо исследовать фотометрическую ошибку поля, бриллиантность и дисторсию, даваемые его объективом. В отношении первых двух ошибок исследование сводится к съемке определенных поверхностей на разных расстояниях от центра кадра или к съемке поверхности, заполняющей весь кадр, а в отношении дисторсии — к обработке по специальной программе снимков с имеющимися на них ориентирами с известными горизонтальными координатами.

Порядок наблюдений. Каждый ясный вечер или утро при наличии серебристых облаков ведется их фотографическая съемка. Одновременно с наблюдениями снимки калибруются с помощью калибровочного фонаря на площадке или сразу же после наблюдений в лаборатории с помощью того же фонаря или трубчатого фотометра. Калибровка производится всегда при строго одинаковых условиях. С восхода Солнца и до его захода, если небо ясно, производятся наблюдения Солнца с помощью насадки для определения атмосферного поглощения и стандартизации полученных снимков. Эти наблюдения также калибруются в тот же день.

Журнал наблюдений нужно вести тщательно и аккуратно. Для каждого аппарата запись ведется отдельно. Пленки и кадры отдельных пленок нумеруются и для них записывается: 1) что снималось; 2) момент съемки с точностью до 0,1 минуты; 3) диафрагма. Все наблюдения проводятся с постоянной выдержкой 30 секунд. При поляриметрической съемке поляроиды на каждой камере устанавливаются всегда в одном и том же положении, которое указывается в журналах.

При отсутствии серебристых облаков и при отсутствии обычной облачности следует наблюдать оптические характеристики зоревого сегмента, которые, во-первых, сами по себе представляют большой научный интерес и, во-вторых, значительно облегчают обработку результатов наблюдений серебристых облаков.

В настоящей инструкции изложены лишь основы методики проведения фотографических фотометрических, поляриметрических и колориметрических наблюдений серебристых облаков. По всем вопросам методики и организации указанных наблюдений серебристых облаков, а также обработки таких наблюдений необходимо обращаться в отдел серебристых облаков Всесоюзного астрономо-геодезического общества при Академии наук СССР по адресу: 103009, Москва К-9, а/я 918. Туда же следует высылать и все полученные материалы.

Литература

1. Бронштэн В. А., Гришин Н. И. Серебристые облака. — М.: Наука, 1970.

2. Васильев О. Б. Астрофизические исследования серебристых облаков. — М.: Изд. Астросовета АН СССР, 1967.

§ 13. Инструкция для наблюдений астроклимата

Основным фактором, снижающим эффективность телескопов, является оптическая неоднородность земной атмосферы, вызывающая значительные искажения света небесных светил. Эти искажения зависят от средних размеров оптических неоднородностей, вызываемых в атмосфере перемешиванием слоев воздуха с различной температурой. Поскольку качество астрономических наблюдений во многом зависит от состояния земной атмосферы, возникает существенная необходимость изучения астроклимата в местах существующих астрономических обсерваторий и при выборе мест для установки новых средних и крупных телескопов.

Наблюдения ночного астроклимата. Имеются три различных эффекта, вызываемых оптическими неоднородностями земной атмосферы: мерцание, дрожание и размытие изображений звезд.

Мерцание звезд, хорошо заметное невооруженным глазом, не является существенной помехой при наблюдениях в большие телескопы, так как их объективы в значительной степени усредняют амплитуду мерцания. Поэтому при изучении астроклимата мерцание звезд можно не принимать во внимание.

Если средние размеры атмосферных оптических неоднородностей существенно меньше диаметра объектива телескопа, то суммарное их действие приводит к размытию изображений звезд в телескопе. Если же размеры оптических неоднородностей значительно больше диаметра объектива телескопа, то наблюдается дрожание звезд.

При хорошем качестве изображения средние размеры наиболее эффективных оптических неоднородностей составляют 50—90 см. В телескопе диаметром более 1,5 м в этом случае видно размытое и почти неподвижное изображение звезды. В этих же условиях в телескопе диаметром 10 см наблюдается четкое дифракционное

изображение, которое дрожит с частотой, обычно не превышающей 10 Гц. При этом амплитуда дрожания в поле зрения 10-сантиметрового телескопа соответствует диаметру размытого изображения в поле зрения большого телескопа. Следовательно, измеряя амплитуду дрожания звезды в телескопе диаметром 10 см, можно предсказать средний размер изображения звезды в большом телескопе.

Астроклиматические исследования следует начинать с изучения общей метеорологической обстановки, для чего желательно установить контакт с опытными метеорологами, хорошо знающими район изучения. По многолетним данным метеостанций подсчитывается среднее число ночей в каждом месяце. Умножая число ясных ночей в месяце на среднюю продолжительность астрономической ночи в этом месяце (см. табл. 18а и 22 в отделе «Таблицы»), получим минимальную продолжительность $T_м$ ночного наблюдательного времени в каждом месяце. Просуммировав эти значения $T_м$ по месяцам, найдем минимальную продолжительность ночного наблюдательного времени в году. Учет полуясных ночей представляет более сложную задачу, и мы не будем приводить его здесь, так как минимальная продолжительность наблюдательного времени является вполне достаточной характеристикой. Результаты подсчетов сводятся в таблицу:

Ясная ночная погода

Место наблюдений: географическая долгота (λ)
географическая широта (φ)
высота над уровнем моря (*h*)

Месяцы	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	за год
Число ясных ночей													
Средняя продолжительность ночи													
$T_м$													

Одновременно с изучением общих метеорологических условий необходимо выбрать в исследуемом районе одну или несколько доступных изолированных вершин, удаленных от крупных промышленных центров. На выбранной вершине следует в первую очередь измерять среднюю скорость ветра и температуру воздуха по нескольку раз в ночь. Скорость ветра удобно измерять стан-

дартным анемометром Фусса, а температуру — термографом, установленным в стандартной метеобудке на высоте 2 м над уровнем земной поверхности.

Опыт показывает, что если средняя скорость ветра не превосходит 2—3 м/с, а суточный перепад температуры (разность между максимальной дневной и минимальной ночной температурой) не превышает 6—8°, то можно ожидать хорошего качества изображения. Однако для полной уверенности необходимы визуальные наблюдения дрожания изображений звезд. Эти наблюдения требуют жесткой монтировки телескопа, чтобы ветровые вибрации инструмента не вносили существенных ошибок.



Рис. 192. Рефрактор на жесткой неподвижной монтировке.

Наиболее приемлемым инструментом для измерения дрожания изображений звезд является рефрактор с объективом диаметром 10 см. Рефрактор устанавливается на жесткой неподвижной монтировке (рис. 192) и его ось направляется на северный полюс мира. Микрометрическими ключами телескоп может поворачиваться по азимуту и высоте в пределах ±2° для наведения на Полярную звезду. Увеличение телескопа должно быть около 600—700$^{\times}$ для того, чтобы глаз уверенно различал дифракционное изображение звезды. В фокусе окуляра помещается шкалка с делениями в секундах дуги (рис. 193). Угловым масштабом при измерении дрожания может также служить диаметр дифракционного диска изображения звезды, равный 2″ при диаметре объектива 10 см.

В течение 1 минуты наблюдатель оценивает среднюю амплитуду дрожания изображения звезды относительно неподвижной визирной нити. Амплитуда оценивается в долях диаметра дифракционного диска или по шкале, если дифракционная картина плохо видна. Опытный наблюдатель оценивает амплитуду дрожания с точностью до 0,1 доли диаметра дифракционного диска (0″,2).

Наблюдения следует проводить не менее трех раз за ночь (в начале астрономической ночи, в полночь и в конце астрономической ночи) одновременно с измерениями температуры воздуха и средней скорости ветра на высоте двух метров.

Результаты наблюдений записываются в журнал по следующей форме:

Фамилия, имя, отчество наблюдателя

Место наблюдений: географическая долгота (λ)
географическая широта (φ)
высота над уровнем моря (h)
диаметр телескопа и увеличение

Дата	Время наблюдения	Облачность	Амплитуда дрожания	Температура воздуха	Скорость ветра	Суточный перепад температуры	Примечание

Наблюдения, проведенные в различные сезоны года, позволяют охватить годовой цикл изменения погоды.

Наблюдения дневного астроклимата. Эти наблюдения возможны в телескопы диаметром не менее 50 мм при

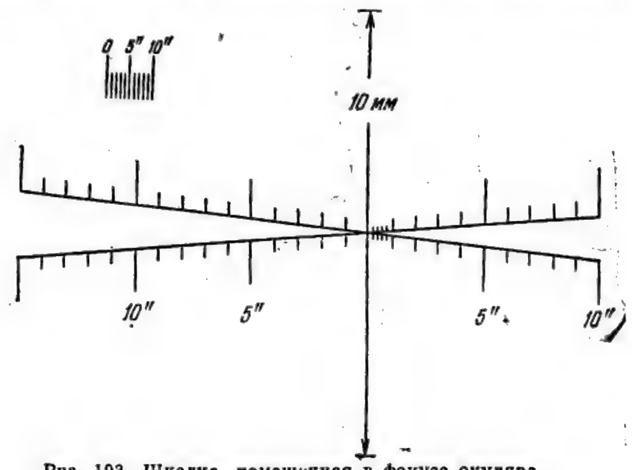


Рис. 193. Шкалка, помещенная в фокусе окуляра.

увеличении 200—300$^{\times}$ или при размере изображения Солнца на экране около 20 см. В фокусе окуляра натягиваются две параллельные нити с угловым расстоянием между ними в 5″—10″. Указания о вычислении углового расстояния между нитями см. § 4, гл. IV. В окуляр обязательно вставляется темное стекло для защиты глаза от солнечного света. Край солнечного диска помещается между нитями и оценивается средняя амплитуда его дрожания в долях расстояния между нитями, а также качество изображения по пятибалльной шкале К. О. Кипенхойера:

1 балл. Дрожания изображения на солнечном диске и на его краю незаметно	Грануляция и структура полутени солнечных пятен хорошо заметна
2 балла. Дрожание изображения (2") заметно только на краю; на диске дрожание почти неразличимо	Грануляция видна, полутень пятен видна, но почти без тонкой структуры
3 балла. Дрожание изображения (4") хорошо заметно на краю и на диске; солнечный лимб волнистый и пульсирует	Грануляция только прослеживается, но структура солнечной поверхности еще заметна при перемещении изображения. Тень и полутень еще разделяются, но тонкая структура пятен не видна
4 балла. Дрожание изображения (5") мешает отличать тень от полутени; солнечный лимб волнистый и пульсирует	Тень и полутень разделяются только у больших пятен. Структура грануляции не видна
5. баллов. Амплитуда дрожания достигает диаметра больших пятен	Даже у самых больших пятен тень и полутень неразличимы

Наблюдения качества изображения желательно проводить не менее трех раз в сутки (утром, в полдень и вечером). Запись наблюдений в журнале ведется по форме:

Дата	Время наблюдения	Облачность	Дрожание		Качество изображения в баллах	Скорость ветра	Температура воздуха	Примечание
			в долях расстояния между нитями	в секундах дуги				

В заголовке журнала указываются фамилия, имя и отчество наблюдателя, географические координаты места наблюдения, характеристика рельефа и данные об инструменте: тип, диаметр, фокусное расстояние, увеличение, поле зрения, угловое расстояние между нитями.

Глава VI

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ

§ 1. Интерполирование

Интерполированием (интерполяцией) *называется вычисление приближенного значения табличной функции при значении аргумента* (аргументов), *промежуточном между табличными его значениями.*

Если заданное значение аргумента (аргументов) находится вне области табличных значений (больше наибольшего или меньше наименьшего), то аналогичная операция называется экстраполированием (экстраполяцией).

Укажем один из наиболее частых примеров интерполяции. Геоцентрические координаты небесных тел даются в виде таблицы. Так, в Переменной части Астрономического Календаря координаты Солнца и Луны даются на начало каждых суток, координаты планет — через 16 суток. Моменты же наблюдений почти никогда не совпадают с началом суток. Если требуется определить, например, координаты Солнца в 1957 г. декабрь 13 6^h0^m всемирного времени, то надо интерполировать между эпохами декабрь 13,0 и декабрь 14,0.

Любой способ интерполяции состоит из следующих трех частей: а) выбора непрерывной функции, которая должна представлять приближение заданной табличной функции в области значений аргумента, близких к заданному значению; она должна содержать несколько буквенных параметров; б) вычисления значения приближающей функции при заданном значении аргумента; найденное число принимается за приближенное значение табличной функции; в) оценки ошибки интерполяции, если это необходимо.

Способы интерполяции различаются между собой в части а) — построении приближающей функции. Детально разработаны способы интерполяции функции одного аргумента. Об интерполяции функций нескольких аргументов, с которой редко приходится иметь дело, будет кратко упомянуто в конце.

I. Линейная интерполяция. Если изменение функции может считаться пропорциональным изменению аргумента, то интерполяция производится с помощью простой пропорции и называется *линейной интерполяцией* (приближающая функция — прямая).

П р и м е р 1. **Определить прямое восхождение Солнца в 15^h всемирного времени 10 октября 1972 г.**

В Астрономическом Календаре на 1972 г. дается прямое восхождение Солнца в 0^h всемирного времени каждых суток. Выписываем его на 10, 11, 12 и 13 октября.

Октябрь	α	$\Delta\alpha$
10	$13^h01^m52^s$	
		3^m41^s
11	13 05 33	
		3 41
12	13 09 14	
		3 42
13	13 12 56	

Так как изменение прямого восхождения Солнца почти постоянно, принимая его равным 221^s, составляем простую пропорцию $221 : 24 = x : 15$, откуда получаем $x = \frac{221 \cdot 15}{24} = 138^s$.

Следовательно, прямое восхождение Солнца в заданный момент равно $13^h01^m52^s + 2^m18^s = 13^h04^m10^s$.

Линейная интерполяция имеет широкое применение в различных таблицах, в частности, в таблицах логарифмов и в таблицах натуральных значений тригонометрических функций.

II. Графическая интерполяция. Пусть функция $x(t)$ задана таблицей:

t	...,	t_{k-2},	t_{k-1},	t_k	t_{k+1},	t_{k+2}, ...
x	...,	x_{k-2},	x_{k-1},	x_k	x_{k+1},	x_{k+2}, ...

Табличные значения функции и аргумента (x_k, t_k) называют *узлами таблицы*. В прямоугольной системе координат (t, x) строят точки, изображающие узлы таблицы. Эти точки также называют *узлами*. «От руки» проводят плавную кривую так, чтобы она проходила через точки. Построенная кривая принимается за г р а ф и к п р и б л и ж а ю щ е й ф у н к ц и и. Для интерполяции на заданное значение t надо отложить на оси абсцисс отрезок, равный t, восставить в конце его перпендикуляр к оси абсцисс до пересечения с кривой; приближенное значение функции $x(t)$ будет равно длине этого перпендикуляра.

Графический способ применяется в тех случаях, когда табличная функция получена из недостаточно надежных наблюдений и сама функциональная зависимость не выражена четко, например, если x зависит не только от t, но и от других величин, которые не учитываются.

Способ не может дать результатов высокой точности как из-за ограниченной точности графических методов, так и вследствие произвольности и неопределенности при проведении плавной кривой.

III. Точечная интерполяция (общие сведения). Основное условие точечной интерполяции заключается в том, что *приближающая функция должна точно представлять в узлах часть таблицы, используемую для интерполирования.* Из этого условия вытекает,

что *точечную интерполяцию следует применять в тех случаях, когда табличные значения функции достаточно точны.*

Иначе говоря, если $P(t)$ — приближающая функция, то должны иметь место равенства

$$\ldots x_{k-2} = P(t_{k-2}), \quad x_{k-1} = P(t_{k-1}), \quad x_k = P(t_k), \ldots$$

Приближающая функция должна содержать несколько параметров, число которых равняется числу используемых узлов таблицы.

Другое условие точечной интерполяции касается вида функций, используемых для приближения. В практических задачах за приближающую функцию, как правило, принимается а л г е б р а и ч е с к и й п о л и н о м. Например, полином

$$P(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$$

применяется для интерполяции в случае использования четырех узлов таблицы в окрестности того значения аргумента t, для которого требуется интерполирование. Если функция периодическая и требуется приближение по всему периоду, то за приближающую функцию принимается т р и г о н о м е т р и ч е с к и й п о л и н о м. Например, можно взять полином

$$F(t) = a_0 + a_1 \cos t + b_1 \sin t + a_2 \cos 2t + b_2 \sin 2t + \\ + a_3 \cos 3t + b_3 \sin 3t + a_4 \cos 4t + b_4 \sin 4t,$$

если используется девять узлов и период равен 2π.

IV. Разностные интерполяционные формулы для таблиц с постоянным шагом. Большинство таблиц, которыми приходится в своей работе пользоваться астроному, имеют постоянный шаг от начала до конца либо состоят из нескольких крупных частей, внутри которых шаг постоянен. *Шагом* таблицы называют промежуток между соседними значениями аргумента. К таблицам с постоянным шагом относятся все, полученные вычислениями: например, эфемериды и математические таблицы. Если таблица получена из наблюдений, то она редко может быть с постоянным шагом. Если можно считать, что в такой таблице случайные и прочие ошибки малы, то есть смысл с помощью приведенной выше формулы перестроить таблицу на постоянный шаг.

Все интерполяционные формулы для таблиц с постоянным шагом выведены для нормированного аргумента

$$u = \frac{t - t_0}{h},$$

где t_0 — табличное значение аргумента, принятое за начальное, h — шаг таблицы. По заданному t из табличных значений выбирается начальное t_0 так, чтобы величина $t - t_0$ по абсолютному значению не превышала половины шага. При этом условии t может быть больше t_0; тогда говорят, что *интерполируют вперед*

$(u > 0)$; интерполяцию при $t < t_0$ называют *интерполяцией назад* $(u < 0)$.

1. Разности табличной функции при постоянном шаге. Выпишем таблицу значений аргумента и функции в столбец с пропуском строчки между каждыми двумя смежными значениями. Поместим начальное значение около середины части таблицы, выписанной из полной таблицы. Получим три столбца. В первом из них будут табличные значения аргумента t, во втором — значения нормированного аргумента u, в третьем — значения функции x.

t	u	x	Разн. 1-го порядка	Разн. 2-го порядка	Разн. 3-го порядка	Разн. 4-го порядка
$t_0 - 2h = t_{-2}$	-2	x_{-2}				
			$x^1_{-\frac{3}{2}}$			
$t_0 - h = t_{-1}$	-1	x_{-1}		x^2_{-1}		
			$x^1_{-\frac{1}{2}}$		$x^3_{-\frac{1}{2}}$	
t_0	0	x_0		x^2_0		x^4_0
			$x^1_{\frac{1}{2}}$		$x^3_{\frac{1}{2}}$	
$t_0 + h = t_1$	$+1$	x_1		x^2_1		
			$x^1_{\frac{3}{2}}$			
$t_0 + 2h = t_2$	$+2$	x_2				

Расширим таблицу направо столбцом разностей 1-го порядка, которые получаются вычитанием каждого значения из последующего. Число разностей 1-го порядка на единицу меньше числа узлов. Их обозначения записываются в 4-м столбце: верхний значок указывает порядок разностей, нижний значок — среднее арифметическое из значков тех табличных значений, из которых получена разность. Из разностей 1-го порядка образуем новые разности, назовем их разностями 2-го порядка. Обозначения строятся по тем же правилам, как для разностей 1-го порядка: верхний значок указывает порядок разности, нижний значок равен среднему арифметическому нижних значков тех двух разностей 1-го порядка, из которых получена разность 2-го порядка.

Совершенно таким же образом вычитанием смежных разностей 2-го порядка получим разности 3-го порядка и т. д. Если в используемой части таблицы пять узлов, то разностей 1-го порядка будет четыре, 2-го — три, 3-го — две и 4-го — одна. Все разности нечетного порядка имеют дробные нижние значки со знаменателями два, все разности четного порядка имеют целые нижние значки. Разности, выписанные в одной строке, имеют одинаковые нижние значки. Между каждыми двумя смежными

разностями как по вертикали, так и по горизонтали при предложенной системе записи остаются пустые места. Вся таблица разностей имеет вид равнобедренного треугольника, основанием которого является таблица значений функции. Этот треугольник называется *треугольником разностей*.

2. Интерполяционные формулы Ньютона для таблиц с постоянным шагом.

а) *Формула Ньютона для интерполяции вперед:*

$$N^+(u) = x_0 + \frac{u}{1!}\,x^1_{\frac{1}{2}} + \frac{u(u-1)}{2!}\,x^2_1 + \frac{u(u-1)(u-2)}{3!}\,x^3_{\frac{3}{2}} + \cdots$$

Здесь используются последовательные разности, расположенные на верхней стороне треугольника разностей. Значок «плюс» обозначает интерполяцию вперед.

б) *Формула Ньютона для интерполяции назад:*

$$N^-(u) = x_0 + \frac{u}{1!}\,x^1_{-\frac{1}{2}} + \frac{u(u+1)}{2!}\,x^2_{-1} + \frac{u(u+1)(u+2)}{3!}\,x^3_{-\frac{3}{2}} + \cdots$$

В этой формуле используются последовательные разности на нижней стороне треугольника разностей.

Пример 2. Определить клонение Марса в 0^h всемирного времени 17 июня 1972 г.

В Астрономическом Календаре на 1972 г. дается склонение Марса в 0^h мирового времени с шагом 16 суток. Ближайшее к 17 июня склонение дано на 12 июня. Так как от 12 до 17 июня 5 суток, что меньше половины шага, то за начальное склонение δ_0 принимается склонение 12 июня и интерполяция производится вперед. Поэтому склонения δ выписываются на 12 июня и на несколько следующих дат.

1972		δ				
VI	12	+23° 14′				
			+109′			
VI	28	+21 25		+38′		
			+147		−5′	
VII	14	+18 58		+33		−2′
			+180		−7	
VII	30	+15 58		+26		
			+206			
VIII	15	+12 32				

Так как разности 4-го порядка почти равны друг другу, то можно ограничиться пятью узлами. Теперь надо вычислить члены интерполяционной формулы по следующей схеме:

(1)	(2)	(3)
$u = 5 : 16 = 0{,}3125$	$N_1 = +0{,}3125$	$\Delta_1 = +34',0$
$u - 1 = -0{,}6875$	$N_2 = -0{,}1074$	$\Delta_2 = -4{,}1$
$u - 2 = -1{,}6875$	$N_3 = +0{,}0602$	$\Delta_3 = -0{,}3$
$\delta = 23°\,44'$	$\delta_0 = 23°\,14'$	$\Delta = +30'$

Пояснения. В столбце (1) заготовлены нормированный аргумент «u» и множители, входящие в коэффициенты при разностях в формуле Ньютона для интерполяции вперед. В столбце (2) вычислены последовательные коэффициенты,

обозначенные N_1, N_2, N_3. При вычислениях используются предыдущие коэффициенты по формулам

$$N_1 = u, \quad N_2 = \frac{N_1(u-1)}{2}, \qquad N_3 = \frac{N_2(u-2)}{3}.$$

В столбце (3) даны произведения коэффициентов на разности, вычисленные с запасным знаком (десятые доли минуты). Чтобы обеспечить этот знак, N_1 и N_2 необходимо брать с четырьмя знаками после запятой, а в N_3 можно было бы ограничиться тремя знаками.

Сложение чисел столбца (3) даст сумму Δ всех членов формулы без первого; после сложения запасный знак отбрасывается с округлением последнего знака. Прибавив к начальному значению склонения δ_0 член Δ, получим искомое склонение.

Кроме интерполяционной формулы Ньютона, применяются и некоторые другие интерполяционные формулы (Бесселя, Стирлинга и др.), вычисления по которым иногда бывает более выгодно производить, главным образом из-за меньшей вычислительной трудоемкости (например, при «интерполяции на середину» выгоднее всего пользоваться формулой Бесселя).

V. Интерполирование по таблицам функции двух аргументов. Эту задачу называют также интерполированием по таблице с *двумя входами*. Употребляется также название «двумерная задача интерполяции».

Функция $u = u(x, y)$ задана таблицей своих значений; значения x даны с шагом g, значения y — с шагом h; табличные значения функции — u_{kl}, значок k — для x, значок l — для y. Требуется найти приближенное значение функции при определенных заданных x и y, не совпадающих с табличными. Существуют специальные формулы для решения такой задачи, но ими редко пользуются.

Обычно употребляемый способ состоит из следующих операций: производят интерполяцию по x при нескольких табличных значениях y; в результате получают новую одномерную таблицу, в которой находится несколько вычисленных значений функции при заданном x и разных табличных значениях y.

§ 2. Теория ошибок с элементами теории вероятностей

1. Случайные события. Рассматриваются только такие случайные события, для которых тем или иным способом можно указать *вероятность*, т. е. число, *оценивающее возможность появления события*.

1. Классическое определение вероятности случайного события. Если до наблюдения случайного явления, в котором может произойти или не произойти случайное событие C, можно составить полный конечный список возможных, несовместных, равновозможных случаев и выделить из них благоприятные, при которых событие происходит, то *вероятностью события C называется отношение числа благоприятных случаев к числу всех случаев полного списка.*

Если n — число всех случаев, k — число благоприятных случаев, то имеем, по определению,

$$p = P(C) = \frac{k}{n}.$$

Следствие из определения. Вероятность невозможного события равна нулю, вероятность достоверного события равна единице.

Пример 1. Бросают игральную кость. Определить вероятность выпадения пятерки.

Полный список случаев: 1, 2, 3, 4, 5, 6. Из них благоприятен только один случай. Поэтому

$$p = P(5) = \frac{1}{6}.$$

2. Статистические вероятности. Если производится много наблюдений, в которых регистрируются появления и непоявления события, то за приближенное значение вероятности в тех случаях, когда неизвестна теоретическая (математическая) вероятность, о которой говорилось выше, принимают отношение числа появления событий к числу всех произведенных наблюдений. Такие вероятности называют *статистическими* (иногда — эмпирическими), или *частостями*. Статистическая вероятность может быть принята *в точности* равной теоретической только в случае бесконечно большого числа наблюдений, что, естественно, практически не осуществимо.

II. Случайные величины: дискретные и непрерывные.

1. Распределение вероятностей. Если ξ — случайная дискретная величина, принимающая значения x_1, x_2, ..., x_n, а p_1, p_2, ..., p_n — их вероятности, то условимся эти данные записывать в виде таблицы, называемой *таблицей распределения:*

ξ				
	x_1	x_2	...	x_n.
	p_1	p_2	...	p_n.

В первой строке должны быть записаны все возможные значения величины ξ. Если список значений полный, то сумма вероятностей равна единице.

Пример 2. Выпущена лотерея в 100 билетов по 5 р. каждый; в ней 2 выигрыша по 50 р., 4 — по 25 р., 10 — по 10 р. Составить распределение вероятностей выигрыша для обладателя одного билета, если стоимость билета включается в размер выигрыша:

45 р.	20 р.	5 р.	—5 р.
0,02	0,04	0,1	0,84

Из всех сумм выигрыша вычтена стоимость билета, чтобы иметь распределение вероятностей чистого выигрыша. Чтобы список значений был полным,

необходимо включить и случай, когда билет не выигрывает, т. е. выигрыш отрицательный.

Если ξ — непрерывная случайная величина, то надо задать область ее значений и функцию распределения $F(x)$ или *плотность вероятности*

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}.$$

Функция распределения определяется условием

$$F(x) = P(\xi < x),$$

т. е. $F(x)$ равна вероятности того, что случайная величина примет значение меньшее, чем аргумент функции. Из определения вытекают следующие свойства функции распределения:

$$\begin{aligned} &F(x) = 0, \quad \text{если} \quad x \leqslant a, \\ &F(x) < 1, \quad \text{если} \quad b > x > a, \\ &F(x) = 1, \quad \text{если} \quad x \geqslant b; \end{aligned} \qquad f(x) = 0, \quad \text{если} \begin{cases} x < a \\ \text{или} \\ x > b, \end{cases}$$

где a и b — границы области, в которой ξ — непрерывная случайная величина — может принимать любое значение.

2. Основная задача теории случайных величин. Основной задачей является вычисление вероятности того, что случайная величина примет какое-нибудь из своих значений в произвольной заданной области от α до β. Она решается по-разному для дискретных и непрерывных величин.

А. Если величина ξ — дискретная, ее значения $x_1, x_2, \ldots, x_n$ расположены в порядке возрастания и $x_{l-1} \leqslant \alpha$, $x_l \geqslant \alpha$, $x_m < \beta$, $x_{m+1} \geqslant \beta$, то

$$P(\alpha < \xi < \beta) = p_l + p_{l+1} + \cdots + p_{m-1} + p_m.$$

Б. В случае непрерывной величины

$$P(\alpha < \xi < \beta) = F(\beta) - F(\alpha) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x)\,dx.$$

В ряде прикладных задач заданный интервал от α до β называют *доверительным интервалом* (α и β — доверительные границы), а вероятность попасть в доверительный интервал называется *доверительной вероятностью*.

Обычно ставятся задачи двух типов:

а) задается доверительная вероятность (обычно близкая к единице), требуется вычислить доверительный интервал;

б) обратная задача.

3. Математическое ожидание и дисперсия случайной величины. *Математическим ожиданием (средним значением) дискретной случайной величины назы-*

вается сумма произведений значений величины на их вероятности:

$$E(\xi) = \sum_{k=1}^{n} p_k x_k.$$

Математическое ожидание произвольной функции $\varphi(\xi)$ дискретной случайной величины определяется формулой

$$E\{\varphi(\xi)\} = \sum_{k=1}^{n} p_k \varphi(x_k).$$

Математическое ожидание (среднее значение) *непрерывной случайной величины вычисляется по формуле*

$$E(\xi) = \int_a^b x f(x)\,dx.$$

Пределы интеграции можно писать от $-\infty$ до $+\infty$, так как вне области $f(x) = 0$.

Математическое ожидание функции $\varphi(\xi)$ вычисляется по формуле

$$E\{\varphi(\xi)\} = \int_a^b \varphi(x) f(x)\,dx.$$

Математическое ожидание нередко называют центром распределения случайной величины.

Дисперсией случайной величины называется математическое ожидание квадрата отклонения значений величины от ее математического ожидания. Определение пригодно и для дискретных, и для непрерывных величин, но способ вычисления зависит от вида величины. Если обозначить $\bar{x} = E(\xi)$, то

$$D(\xi) = \sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x})^2 \text{ — для дискретных и}$$

$$D(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \bar{x})^2 f(x)\,dx \text{ — для непрерывных величин.}$$

Средним квадратичным отклонением случайной величины называется корень квадратный из дисперсии. Обозначается часто буквой σ со значком, указывающим величину, или просто σ, если рассматривается только одна величина:

$$\sigma_\xi = \sigma = \sqrt{D(\xi)}.$$

4. Свойства математического ожидания и дисперсии. *Случайные величины называются взаимно независимыми, если вероятность всякого значения одной не зависит от значений других величин.*

Математическое ожидание определенной (не случайной) величины равно ее значению.

Дисперсия определенной величины равна нулю.

Математическое ожидание алгебраической суммы величин равно такой же сумме их математических ожиданий.

Математическое ожидание произведения взаимно независимых случайных величин равно произведению их математических ожиданий.

Дисперсия линейной функции взаимно независимых случайных величин равна сумме произведений дисперсий составляющих величин на квадраты их коэффициентов.

Если

$$u = a\xi + b\eta + c,$$

где a, b, c — определенные величины, а ξ и η — взаимно независимые случайные величины, то

$$D(u) = a^2 D(\xi) + b^2 D(\eta) \qquad (D(c) = 0).$$

5. Равномерное распределение. Непрерывная случайная величина ξ называется *равномерно распределенной* в области от a до b, если плотность вероятности постоянна во всей области:

$$f(x) = \frac{1}{b-a}.$$

Для такой величины $\bar{x} = \frac{b+a}{2}$ (середина области), $\sigma_x = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$. Если за начало отсчета принять середину области и обозначить $\alpha = \frac{b-a}{2}$, то область значений величины будет заключена в пределах от $-\alpha$ до $+\alpha$, $f(x) = \frac{1}{2\alpha}$, $\bar{x} = 0$, $\sigma_x = \frac{\alpha}{\sqrt{3}}$.

Равномерное распределение обычно предполагают при рассмотрении случайных ошибок округлений; если есть совокупность округленных чисел с точностью до 0,005, то принимается, что точные ошибки чисел равномерно распределены в области от −0,005 до +0,005.

Равномерность распределения принимается также, например, при рассмотрении величины наклонения орбит совокупности двойных звезд.

Пример 3. Наклонения i равномерно распределены в области от −90 до +90°; требуется определить среднее значение величины $u = \sin^2 i$:

$$\bar{u} = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin^2 i \frac{di}{\pi} = \frac{1}{2}.$$

6. Нормальное распределение. *Непрерывная случайная величина* ξ *называется нормально распределенной в области от* $-\infty$ *до* $+\infty$, *если плотность вероятности этой величины определяется формулой*

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где a и σ — определенные числа.

Говорят также, что закон распределения с плотностью вероятности $f(x)$ есть *закон нормального распределения*. Математическое ожидание такой величины равно a, дисперсия равна σ^2 (значение σ — среднее квадратичное отклонение).

График плотности вероятности, называемый часто *кривой Гаусса*, имеет вид, изображенный на рис. 194. Кривая Гаусса

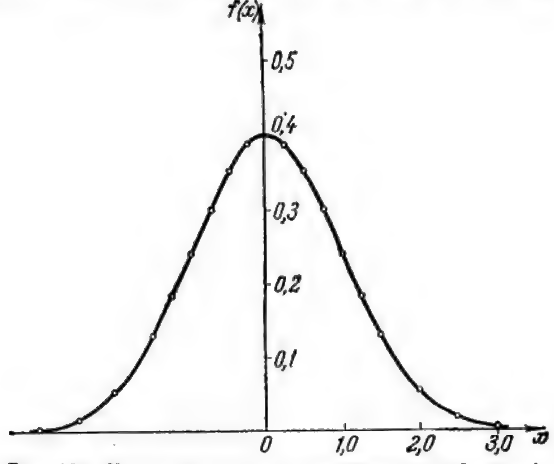


Рис. 194. Кривая Гаусса с параметрами $a=0$, $\sigma=1$.

имеет максимум при $x=a$ и две точки перегиба при $x=a\mp\sigma$; при $x\to-\infty$ и при $x\to+\infty$ кривая асимптотически стремится к оси x.

Для построения кривой Гаусса следует пользоваться таблицей функции (с. 518)

$$\Phi'(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z^2}{2}} \qquad \text{(табл. XXIX).}$$

По заданным a и σ и разным x вычисляются $z=\frac{x-a}{\sigma}$, и тогда

$$f(x)=\frac{1}{\sigma}\Phi'(z).$$

Основная задача для нормального распределения решается просто:

$$P(\alpha<\xi<\beta)=\Phi\left(\frac{\beta-a}{\sigma}\right)-\Phi\left(\frac{\alpha-a}{\sigma}\right).$$

Таблица XXIX

Значения функции $\Phi'(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}$

z	$\Phi'(z)$	z	$\Phi'(z)$	z	$\Phi'(z)$	z	$\Phi'(z)$
0,0	0,399	1,0	0,242	2,0	0,054	3,0	0,004
0,1	0,397	1,1	0,218	2,1	0,044	3,1	0,003
0,2	0,391	1,2	0,194	2,2	0,035	3,2	0,002
0,3	0,381	1,3	0,171	2,3	0,028	3,3	0,002
0,4	0,368	1,4	0,150	2,4	0,022	3,4	0,001
0,5	0,352	1,5	0,130	2,5	0,018	3,5	0,001
0,6	0,333	1,6	0,111	2,6	0,014	3,6	0,001
0,7	0,312	1,7	0,094	2,7	0,010	3,7	0,0004
0,8	0,290	1,8	0,079	2,8	0,008	3,8	0,0003
0,9	0,266	1,9	0,066	2,9	0,006	3,9	0,0002
1,0	0,242	2,0	0,054	3,0	0,004	4,0	0,0001

Значения функции $\Phi\left(\frac{\beta - a}{\sigma}\right)$ задаются таблицей (табл. XXXI с. 549), в которой аргумент функции обозначен z. При пользовании таблицей нужно учесть, что $\Phi(-z) = -\Phi(z)$. В частности, при $\alpha = -m\sigma + a$, $\beta = m\sigma + a$ и $m > 0$ имеем:

$$P(-m\sigma < \xi - a < m\sigma) = 2\Phi(m) = P(|\xi - \alpha| < m\sigma),$$

а при $z = m = 1$ из таблиц получаем

$$P(|\xi - a| < \sigma) = 0{,}68;$$

при $m = 3$

$$P(|\xi - a| < 3\sigma) = 0{,}9973 \text{ («правило трех сигм»).}$$

III. Основные положения теории случайных ошибок.

1. **Виды ошибок измерений.** а) *Систематические.* К систематическим относят ошибки, появляющиеся вследствие неточности инструментов или присущие методу измерения.

Они выявляются теорией инструментов, проверкой инструментами высокой точности, и либо определяется их величина (например, ошибки делений круга), либо они исключаются надлежащей организацией наблюдений. Пример: исключение ошибки эксцентриситета измерительного круга поворотом его на 180° и вторичным измерением угла. Действительное значение угла получается как среднее арифметическое обоих измерений, и ошибка от эксцентриситета исключается.

Задача определения систематических ошибок или их исключения рассматривается в практической астрономии.

б) *Случайные ошибки.* Случайными называют ошибки, появляющиеся по случайным причинам, дающим при измерении от-

клонения от точных значений. Величины этих ошибок невозможно определить.

Наличие случайных ошибок проявляется в том, что неоднократные измерения одной и той же определенной величины, выполненные в одинаковых условиях (один прибор, один наблюдатель и т. п.), дают различные числа, хотя и довольно близкие. Весьма часто расхождения между разными значениями превосходят те ошибки, которые могут быть следствием ограниченной точности измерительных приборов.

Под *теорией ошибок* обычно подразумевают именно теорию случайных ошибок.

в) *Личные ошибки*. Опыт показывает, что измерения одной и той же определенной величины, выполненные в одинаковых условиях, но разными наблюдателями, дают несколько отличающиеся результаты в зависимости от физических особенностей наблюдателя. Эти ошибки, в сущности, следует считать систематическими, но они изменяются случайным образом от наблюдения к наблюдению.

г) *Грубые ошибки*. Наблюдения, содержащие грубые ошибки, выявляются при многократных измерениях определенной величины тем, что отдельные результаты измерений заметно отличаются от всех остальных. Они являются либо результатом «зевка» наблюдателя (прочтет 20″, а запишет 30″ и т. п.), либо следствием нарушения нормальных условий (незамеченный толчок и т. п.). Если сомнительный результат измерения сильно отличается от остальных, то можно с уверенностью полагать, что допущена грубая ошибка, и это измерение следует исключить. Если отличие не очень большое, то неясно, имеем ли мы дело с ошибкой или с неблагоприятной случайной комбинацией факторов, вызвавших большую (по модулю) случайную ошибку. Вопрос решается после предварительной обработки материала способом, который будет указан ниже.

2. Закон распределения случайных ошибок и способы оценки их. Для случайных ошибок примем *нормальный закон распределения с центром, равным нулю*. Если a есть неизвестное точное значение измеряемой определенной величины, x — какой-нибудь из случайных результатов измерений, то значением случайной ошибки назовем число

$$x - a = \delta.$$

Предположение о нормальном законе означает, что плотность вероятности случайных значений δ определяется формулой

$$f(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}.$$

Из свойств нормального распределения имеем

$$P(|\delta| < \sigma) = 0{,}68, \quad P(|\delta| < 3\sigma) = 0{,}9973.$$

Последним равенством пользуются для выявления измерений с грубыми ошибками. Приняв за приближенное значение измеряемой величины среднее значение $\bar{x}$, найдем приближенные значения ошибок. Если среди них найдутся такие, модуль которых превышает 3σ, то соответствующие измерения считаются содержащими грубые ошибки и отбрасываются.

Число σ называется *средней квадратичной ошибкой одного измерения*; для краткости дальше будем пользоваться термином *«средняя ошибка»*. Чем больше σ, тем менее точны измерения. Каждый тип измерений характеризуется определенным значением σ.

Результаты измерений также случайны. Для них плотность вероятности имеет вид

$$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

где σ имеет то же значение, что и в $f(\delta)$.

Вместо средней ошибки одного измерения пользуются и другими числовыми характеристиками рассеяния (возможного разброса) случайных ошибок:

$$\textit{вероятная ошибка}\quad r\approx\frac{2}{3}\sigma,$$

$$\textit{мера точности}\quad h\approx\frac{0{,}71}{\sigma}.$$

Числа σ и r уменьшаются при увеличении точности, число h растет с увеличением точности.

Если сопоставляются измерения разных типов, в которых, следовательно, величины средних ошибок различны (σ_1, σ_2, σ_3, ..., σ_n), то в дополнение (или взамен этих величин) вводят новые числовые характеристики, называемые *весами*. Такие измерения называют *неравноточными*.

Определение. *Относительными весами* неравноточных измерений называются числа, обратно пропорциональные квадратам средних ошибок (дисперсиям случайных ошибок).

Если обозначим веса p_1, p_2, p_3, ..., p_n, то по определению

$$p_1=\frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2},\quad p_2=\frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2},\quad p_3=\frac{\sigma_0^2}{\sigma_3^2},\ \ldots,\quad p_n=\frac{\sigma_0^2}{\sigma_n^2},$$

где σ_0^2 — коэффициент пропорциональности, выбираемый произвольно (веса — числа относительные). Если σ_0 равно какой-нибудь из средних ошибок измерений, то вес этого измерения равен единице. Поэтому σ_0 называют *средней квадратичной ошибкой единицы веса* (иногда говорят: на единицу веса); более аккуратное и точное название — *средняя квадратичная ошибка измерения с весом единица*. Мы будем для сокращения говорить *«единичная средняя ошибка»*. Если σ_1, σ_2, σ_3, ..., σ_n неизвестны, но из условий

измерений вытекает, что они неравноточны, то веса назначают более или менее произвольно, так чтобы более надежные и более точные измерения имели бо́льшие веса, чем менее точные.

Примером неравноточных измерений является случай, когда собраны средние арифметические наблюдений одной определенной величины, полученные из разных количеств измерений. Пусть x_1 получено из n_1 наблюдений, x_2 — из n_2 измерений, и т. д. В таком случае за веса измерений $p_1, p_2, \ldots, p_n$ принимают числа $n_1, n_2, \ldots, n_n$.

§ 3. Способ наименьших квадратов

I. Обработка равноточных измерений определенной величины. Формулировка задачи. Обозначим точное значение измеряемой величины a. Вследствие случайных ошибок при измерениях получаем разные числа $x_1, x_2, \ldots, x_n$; средняя ошибка σ каждого измерения одна и та же, но она неизвестна. Требуется определить приближенные значения величин a и σ и оценить погрешность этих приближений.

1. *За приближенное значение измеряемой величины* обычно принимается среднее арифметическое результатов измерений

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}.$$

Оно является *наиболее вероятным значением определяемой величины*, если случайные ошибки распределены нормально, и получается из условия, что сумма квадратов отклонений приближенного значения от измерений имеет наименьшее значение. Поэтому говорят, что $\bar{x}$ получается по *способу наименьших квадратов.*

Надежность значения $\bar{x}$ оценивается средней ошибкой среднего арифметического, которая вычисляется по формуле

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}};$$

в этой формуле в правой части подставляется приближенное значение σ, об определении которого будет сказано в следующем пункте.

2. *Приближенное значение средней ошибки одного измерения* получается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (x_k - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Это — наиболее вероятное значение, какое можно получить из совокупности измерений.

Пример и схема вычислений. Азимут одной стороны тригонометрической сети определен шесть раз. Найти наивероятнейшее значение азимута, среднюю ошибку одного измерения и наивероятнейшего значения.

№ измер.	A_k	a_k	$a_k-\bar{a}$	$(a_k-\bar{a})^2$
1	60° 02′ 35″,6	+5″,6	1″,7	2,89
2	60 02 44,2	+14,2	10,3	106,09
3	60 02 27,6	−2,4	−6,3	39,69
4	60 02 21,0	−9,0	−12,9	166,41
5	60 02 33,2	+3,2	−0,7	0,49
6	60 02 41,8	+11,8	+7,9	62,41
Суммы		+23″,4	(0″,0)	377,98 (377,98)

$$A_0 = 60°\,02'\,30''; \quad A = 60°\,02'\,33'',9 \pm 3'',6; \quad \bar{a} = 3'',9$$

Пояснения. Чтобы не складывать громоздкие измеренные значения азимута, вводим временно новое начало отсчета A_0. В 3-м столбце выписаны $a_k = A_k - A_0$. Для них и будем искать среднее значение. Среднее $\overline{A} = A_0 + \bar{a}$.

В 4-м столбце числа $a_k - \bar{a}$ сложены для контроля; их сумма должна точно равняться нулю, если $\bar{a}$ найдено делением точно, как в примере. Если этого нет, то сумма чисел $a_k - \bar{a}$ будет немного отличаться от нуля. Средняя квадратичная ошибка среднего арифметического оказалась равной $\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{377,98}{6 \cdot 5}} = 3'',6$.

II. Обработка неравноточных измерений определенной величины. Формулировка задачи. При измерении определенной величины a получены значения $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$. Средние ошибки измерений $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$ не равны между собой.

Если $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$ заданы, то по ним следует вычислить относительные веса, задав произвольно предварительное значение средней квадратичной ошибки единицы веса σ_0 (см. § 2, III, 2). Веса вычисляются по формулам:

$$p_1 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2}, \quad p_2 = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_2^2}, \quad \ldots, \quad p_n = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_n^2}.$$

Если $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$ не заданы, то должны быть заданы веса по сведениям о надежности измерений.

Требуется определить приближенное значение величины a (которое мы обозначим $\bar{x}$) и средней квадратичной ошибки на единицу веса по заданным значениям $x_1, x_2, \ldots, x_n$ и весам; кроме того, необходимо вычислить среднюю квадратичную ошибку найденного приближения $\bar{x}$. Если были заданы $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n$, то принятое для вычисления весов σ_0 только предварительное. Окончательным является то, которое вычисляется по весам и измерениям.

1. *За приближенное значение измеряемой величины* принимается среднее весовое, вычисляемое по формуле

$$\bar{x} = \frac{p_1x_1 + p_2x_2 + \cdots + p_nx_n}{p_1 + p_2 + \cdots + p_n}.$$

Среднее весовое есть наиболее вероятное значение измеряемой величины, какое можно получить из неравноточных измерений с заданными весами.

Оно получается из условия минимума весовой суммы квадратов отклонений от среднего весового:

$$\sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x})^2 < \sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - a)^2, \quad \text{если} \quad a \neq \bar{x}.$$

Из выражения для среднего весового следует тождество, используемое для контроля:

$$\sum_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x}) = 0 \quad (\text{если } \bar{x} \text{ вычислено точно}).$$

2. *Приближенное значение единичной средней ошибки.* Эта величина вычисляется после определения $\bar{x}$ по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum\limits_{k=1}^{n} p_k (x_k - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

3. *Средняя ошибка среднего весового.* Эта величина, обозначенная $\sigma_{\bar{x}}$, может считаться мерой надежности найденного приближенного значения измеряемой величины. Она вычисляется по формуле

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{P}},$$

где $P = \sum\limits_{k=1}^{n} p_k$.

III. Определение неизвестных из уравнений по способу наименьших квадратов. 1. Условные (начальные) уравнения. Рассматривается следующая задача. Подлежащие определению величины x, y, z непосредственно не наблюдаются. Вместо них из наблюдений определяются величины $l_1, l_2, \ldots, l_n$, связанные с неизвестными функциональными зависимостями. Мы ограничимся предположением о линейных зависимостях, которые в случае трех неизвестных имеют вид

$$\begin{gathered} a_1x + b_1y + c_1z + l_1 = 0, \\ a_2x + b_2y + c_2z + l_2 = 0, \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ a_nx + b_ny + c_nz + l_n = 0, \end{gathered}$$

где $a_1, a_2, \ldots, a_n, b_1, b_2, \ldots, b_n, c_1, c_2, \ldots, c_n$ — известные числа, изменяющиеся от наблюдения к наблюдению. Числа $l_1, l_2, \ldots$ содержат случайные ошибки; чтобы уменьшить их влияние, составляют много уравнений, гораздо больше, чем неизвестных, если возможно. Написанные уравнения называют *условными* или *начальными*. Благодаря наличию случайных ошибок система этих уравнений несовместна, т. е. нет таких чисел x, y, z, которые удовлетворяли бы всем уравнениям. Если вместо них подставить какие-нибудь определенные числа, то в левых частях не получится нулей и уравнения надо, в сущности, писать так:

$$a_1x + b_1y + c_1z + l_1 = \delta_1,$$

$$a_2x + b_2y + c_2z + l_2 = \delta_2,$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$a_nx + b_ny + c_nz + l_n = \delta_n$$

и т. д., где $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$ — числа, зависящие от подставленных значений x, y, z; они называются *невязками*.

Для решения такой системы вводится условие — принцип Лежандра: *если дана система равноточных условных уравнений, то неизвестные x, y, z определяются так, чтобы сумма квадратов невязок была наименьшей*.

Условные уравнения равноточны, если равноточны измерения $l_1, l_2, \ldots, l_n$. Коэффициенты при неизвестных, по предположению, не содержат случайных ошибок.

Если условные уравнения неравноточны, то нужно найти веса чисел $l_1, l_2, \ldots, l_n$ и умножить каждое условное уравнение на корень квадратный из его веса. К преобразованной системе можно применить принцип Лежандра. Операция умножения условных уравнений на корни квадратные из их весов эквивалентна следующему видоизменению (обобщению) принципа Лежандра: *если условные уравнения неравноточны и известны их веса, то неизвестные вычисляются так, чтобы сумма произведений квадратов невязок на соответствующие веса была наименьшей*.

Если случайные ошибки измерений $l_1, l_2, \ldots, l_n$ подчиняются нормальному закону распределения, то применение принципа Лежандра (простого и обобщенного) дает наиболее вероятные значения неизвестных.

2. Нормальные уравнения. Из принципа Лежандра вытекает следующая система уравнений, называемых *нормальными*, для определения неизвестных:

а) Для равноточных условных уравнений:

$$[aa]\,x + [ab]\,y + [ac]\,z + [al] = 0,$$

$$[ba]\,x + [bb]\,y + [bc]\,z + [bl] = 0,$$

$$[ca]\,x + [cb]\,y + [cc]\,z + [cl] = 0,$$

где

$$[aa] = \sum_{k=1}^{n} a_k^2, \quad [ab] = \sum_{k=1}^{n} a_k b_k = [ba], \quad [ac] = \sum_{k=1}^{n} a_k c_k,$$

$$[al] = \sum_{k=1}^{n} a_k l_k = [la], \quad [bb] = \sum_{k=1}^{n} b_k^2, \quad [bc] = \sum_{k=1}^{n} b_k c_k.$$

По таким правилам вычисляются все коэффициенты.

б) Для неравноточных условных уравнений:

$$[paa]\,x + [pab]\,y + [pac]\,z + [pal] = 0,$$
$$[pba]\,x + [pbb]\,y + [pbc]\,z + [pbl] = 0,$$
$$[pca]\,x + [pcb]\,y + [pcc]\,z + [pcl] = 0.$$

В этих уравнениях $[paa] = \sum_{k=1}^{n} p_k a_k^2$, где $p_1, p_2, \ldots, p_n$ — веса условных уравнений; аналогично вычисляются и все другие коэффициенты. Обозначения для коэффициентов нормальных уравнений были введены Гауссом.

Можно сформулировать следующее общее правило составления нормальных уравнений: *чтобы составить первое нормальное уравнение, нужно каждое условное уравнение умножить на его коэффициент при первом неизвестном и на вес условного уравнения и все преобразованные уравнения сложить; чтобы составить второе нормальное уравнение, нужно каждое условное уравнение умножить на его коэффициент при втором неизвестном и на вес и все преобразованные уравнения сложить.* По аналогичным правилам составляются все нормальные уравнения. Если условные уравнения равноточны, то вес каждого можно считать единицей и умножения на веса отпадают. Если выделить только коэффициенты при неизвестных, то получится квадратная числовая таблица, обладающая следующими свойствами:

а) числа на главной диагонали (от верхнего левого числа до нижнего правого) положительны;

б) таблица симметрична относительно главной диагонали:

$$([ab] = [ba], \quad [bc] = [cb], \quad [ca] = [ac]).$$

Эти свойства сохраняются при любом числе неизвестных.

3. *Контроль составления нормальных уравнений.* Рекомендуются следующие контрольные вычисления при составлении нормальных уравнений в случае равноточных условных уравнений.

а) В каждом условном уравнении вычисляется сумма коэффициентов при неизвестных и свободного члена:

$$a_1 + b_1 + c_1 + l_1 = s_1,$$
$$a_2 + b_2 + c_2 + l_2 = s_2,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$a_n + b_n + c_n + l_n = s_n.$$

б) Эти суммирования в свою очередь контролируются следующим способом: складываются все коэффициенты при каждом неизвестном, все свободные члены и все числа s; должно точно выполняться равенство

$$[a] + [b] + [c] + [l] = [s],$$

в котором $[a] = a_1 + a_2 + \cdots + a_n$; аналогично раскрываются все остальные символы.

в) Вычисляются суммы произведений:

$$[as] = \sum_{k=1}^{n} a_k s_k, \quad [bs] = \sum_{k=1}^{n} b_k s_k, \quad [cs] = \sum_{k=1}^{n} c_k s_k.$$

г) Контроль правильности составления нормальных уравнений заключается в проверке тождеств:

$$[aa] + [ab] + [ac] + [al] = [as],$$

$$[ba] + [bb] + [bc] + [bl] = [bs],$$

$$[ca] + [cb] + [cc] + [cl] = [cs].$$

Если назвать $[as]$, $[bs]$, ... и т. д. первым, вторым и т. д. контрольными числами, то правило контроля формулируется так: сумма коэффициентов при неизвестных и свободного члена в первом нормальном уравнении должна равняться первому контрольному числу, сумма коэффициентов и свободного члена второго нормального уравнения должна равняться второму контрольному числу, и т. д. до последнего нормального уравнения.

4. Решение нормальных уравнений по способу Гаусса. Способом Гаусса называют обычно способ последовательного исключения неизвестных в том порядке, в каком они идут в нормальных уравнениях. Способ состоит из ряда операций, которые будут подробно описаны для уравнений с тремя неизвестными, но легко обобщаются и для уравнений с произвольным числом неизвестных.

а) Составляется первое уравнение исключения, в котором первое неизвестное выражается через остальные из первого нормального уравнения; получается:

$$x = -\frac{[ab]}{[aa]} y - \frac{[ac]}{[aa]} z - \frac{[al]}{[aa]}.$$

б) Это выражение подставляется в остальные нормальные уравнения, и получается первая промежуточная система, не содержащая x:

$$[bb1]\, y + [bc1]\, z + [bl1] = 0,$$

$$[cb1]\, y + [cc1]\, z + [cl1] = 0,$$

в которой

$$[bb1]=[bb]-\frac{[ab]\,[ba]}{[aa]}, \quad [bc1]=[bc]-\frac{[ba]\,[ac]}{[aa]}=[cb1],$$

$$[cc1]=[cc]-\frac{[ac]\,[ca]}{[aa]}, \quad [bl1]=[bl]-\frac{[ab]\,[al]}{[aa]},$$

$$[cl1]=[cl]-\frac{[ac]\,[al]}{[aa]}.$$

Промежуточная система обладает свойствами нормальной системы. Квадратная таблица, составленная из ее коэффициентов, имеет положительные числа на главной диагонали и симметрична относительно главной диагонали.

в) Составляется второе уравнение исключения, в котором второе неизвестное выражается через остальные из первого уравнения первой промежуточной системы,

$$y=-\frac{[bc1]}{[bb1]}z-\frac{[bl1]}{[bb1]}.$$

г) Выражение для y подставляется во все остальные (у нас в одно) уравнения первой промежуточной системы; получится вторая промежуточная система с числом неизвестных на два меньше, чем их начальное число (в нашем случае это будет одно уравнение, содержащее только z). Получим:

$$[cc2]\,z+[cl2]=0,$$

где

$$[cc2]=[cc1]-\frac{[bc1]\,[cb1]}{[bb1]}, \quad [cl2]=[cl1]-\frac{[bl1]\,[bc1]}{[bb1]}.$$

Действия, указанные в перечисленных пунктах, называют п р я м ы м х о д о м в способе Гаусса. После них начинается о б р а т н ы й х о д — последовательное вычисление неизвестных.

д) Из последнего уравнения с одним неизвестным найдем его, т. е. сделаем операции такие же, как и при составлении уравнений исключения. Получим:

$$z=-\frac{[cl2]}{[cc2]}.$$

е) Подставим вычисленное z во второе (предыдущее) уравнение исключения и получим y.

ж) Подставим z и y в первое уравнение исключения и получим x. Вычисленные при обратном ходе значения неизвестных обозначим

$$\bar{x},\ \bar{y},\ \bar{z}.$$

5. О с т а ю щ и е с я п о г р е ш н о с т и. Корни нормальных уравнений x, y, z нужно подставить во все условные уравнения. Получим невязки, удовлетворяющие условию Лежандра;

эти невязки называют *остающимися погрешностями* или *остатками*. Остатки будем обозначать $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$.

Для дальнейших вычислений потребуется сумма квадратов остатков. Она может быть вычислена непосредственно по отдельным остаткам, но полученное число лучше сохранить для контроля, так как его предельная погрешность может быть большой. Сумма квадратов остатков точнее вычисляется по формуле

$$\sum_{k=1}^{n} \varepsilon_k^2 = [ll] + \bar{x}\,[al] + \bar{y}\,[bl] + \bar{z}\,[cl].$$

Для этой формулы потребуется предварительно вычислить сумму квадратов свободных членов условных уравнений $[ll]$.

6. Вычисление весов неизвестных.

а) Если условные и нормальные уравнения содержат только два неизвестных, то веса неизвестных вычисляются по формулам

$$p_x = \frac{[aa]\,[bb] - [ab]^2}{[bb]}, \quad p_y = \frac{[aa]\,[bb] - [ab]^2}{[aa]}.$$

б) Если число неизвестных больше двух, то удобно использовать способ Гаусса, применимый *при условии*, что *во время решения нормальных уравнений производятся только те арифметические действия, которые необходимы для этого способа*. В процессе решения нормальных уравнений нельзя умножать или делить уравнения на какие-нибудь числа (что разрешается при обычных алгебраических способах решения уравнений). Если, например, одно из промежуточных уравнений имеет вид

$$20y + 30z - 50 = 0,$$

то нельзя сократить его на 10 и написать

$$2y + 3z - 5 = 0;$$

дальнейшие действия надо производить над несокращенным уравнением. При этом условии выполняется следующее правило Гаусса: *вес последнего неизвестного равен коэффициенту при этом неизвестном в последнем уравнении* (*содержащем только это неизвестное*). Легко найти вес предпоследнего неизвестного по дополнению к правилу Гаусса: вес предпоследнего неизвестного равен произведению веса последнего неизвестного на отношение коэффициентов при предпоследнем и последнем неизвестных в предпоследней промежуточной системе, содержащей два неизвестных. Пусть, например, при четырех неизвестных x, y, z, u последнее промежуточное уравнение имеет вид $4{,}2u - 7{,}6 = 0$, а предпоследняя промежуточная система —

$$3{,}6z + 5{,}8u - 11{,}4 = 0,$$

$$5{,}8z + 6{,}3u - 14{,}5 = 0.$$

Тогда

$$p_u = 4{,}2, \quad p_z = 4{,}2 \cdot \frac{3{,}6}{6{,}3} = 2{,}4.$$

Правила для вычисления весов остальных неизвестных были бы громоздкими. Поэтому применяется следующий способ. После вычисления весов двух последних неизвестных переставляют неизвестные в основных нормальных уравнениях так, чтобы последние неизвестные стали первыми, а последними стали бы другие неизвестные, веса которых еще нужно вычислять. При этом переставляются столбцы в системе нормальных уравнений; обязательно нужно сделать перестановку уравнений (строк), такую же, как перестановка столбцов.

7. Вычисление средних квадратичных ошибок неизвестных.

а) Вычисление средней ошибки одного условного уравнения. Обозначим ее σ; эту величину можно назвать также *средней ошибкой измерения с весом единица*, так как условные уравнения считаются равноточными и вес каждого принимается равным единице. Число σ вычисляется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{S}{n-m}},$$

где S — сумма квадратов остающихся погрешностей, вычисляемая по формуле п. III,5; $S = [ll] + \bar{x}\,[al] + \bar{y}\,[bl] + \bar{z}\,[cl]$, n — число условных уравнений, m — число неизвестных. Если случайные ошибки чисел l_k в условных уравнениях подчинены нормальному закону распределения, то приведенная формула дает наиболее вероятное значение σ, какое возможно получить из результатов измерений.

Напомним, что остающиеся погрешности ε_1, ε_2, ... должны быть вычислены, чтобы обнаружить грубо ошибочные условные уравнения (если они есть). Если какое-нибудь из чисел ε превышает 3σ, то по принятому соглашению считают вероятным, что в соответствующем условном уравнении есть грубая ошибка. Такие уравнения отбрасывают, снова составляют нормальные уравнения, решают их и т. д. Так как получается много лишней работы, то рекомендуется, если возможно, по сведениям об измерениях, давших условные уравнения, заранее выявить ненадежные и отбросить их до составления нормальных уравнений.

б) Вычисление средних ошибок неизвестных. Они вычисляются по формулам

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{p_x}}, \quad \sigma_y = \frac{\sigma}{\sqrt{p_y}}, \quad \sigma_z = \frac{\sigma}{\sqrt{p_z}}.$$

Результаты записываются, как при прямых измерениях:

$$x = \bar{x} \pm \sigma_x, \quad y = \bar{y} \pm \sigma_y, \quad z = \bar{z} \pm \sigma_z.$$

По величинам σ_x, σ_y, ... можно вычислять вероятности для неизвестных быть в заданных границах по формулам нормального распределения (если случайные ошибки подчинены нормальному закону) или по неравенству Чебышева (если ничего неизвестно о законе распределения ошибок).

8. Пример и схема вычислений.

Даны условные уравнения:

	(a)	(b)	(c)	(l)	(s)	(ε)	(ε²)
	1,78x	+1,48y	−2,37z	+17,8=0	+18,69	+0,62	0,38
	−2,50x	+2,22y	−1,78z	−18,2=0	−20,26	−2,17	4,71
	−3,36x	+3,21y	−0,21z	−16,4=0	−16,76	+1,85	3,42
	+1,81x	+1,51y	+0,20z	+20,3=0	+23,82	−0,23	0,05
	−1,70x	+1,37y	+1,78z	−9,0=0	−7,55	−1,13	1,28
	1x	+0,13y	−0,05z	+8,2=0	+9,28	−0,65	0,42
	1x	+0,09y	+0,02z	+7,6=0	+8,71	−1,20	1,44
Суммы	−1,97	+10,01	−2,41	+10,3	+15,93 (15,93)		11,70

Над столбцами коэффициентов и свободного члена даны их обозначения *a*, *b*, *c*, *l*. Справа от условных уравнений выписан столбец (*s*), т. е. суммы коэффициентов при неизвестных и свободных членов в каждом условном уравнении. Эти суммы контролируются описанным выше (III.5) способом. Поэтому внизу, под чертой, выписаны суммы коэффициентов и свободных членов и сложены все числа *s*. Так как сумма всех *s* равна сумме сумм коэффициентов и свободных членов, то можно считать, что ошибок в подсчете *s* нет. Дополнительные столбцы (ε) и (ε²) заполняются позже.

А. Переходим к вычислению коэффициентов нормальных уравнений. Если есть арифмометр, то каждый коэффициент, представляющий сумму произведений по два множителя в каждом, может быть получен методом накопления. Мы запишем полную схему образования части коэффициентов, которой нужно пользоваться, если нет арифмометра. Получаем:

aa	ab	ac
3,1684	+2,6344	−4,2186
6,2500	−5,5500	+4,4500
11,2896	−10,7856	+0,7056
3,2761	+2,7331	+0,3620
2,8900	−2,3290	−3,0260
1,0000	+0,1300	−0,0500
1,000	+0,0900	+0,0200
28,8741	−13,0771	−1,7570
[aa]	[ab]	[ac]

и аналогично:

[al] = +200,1310;
[as] = +214,1710;
[bb] = +21,6049;
[bc] = −5,3974;

[bl] = −46,6310; [cc] = +12,047; [bs] = −43,5006;
[cl] = −18,5640 [cs] = −13,6777; [ll] = +15,3513.

После вычисления коэффициентов производится контроль вычислений по трем формулам: $[as] = [aa] + [ab] + [ac] + [al]$ и двум другим, ей аналогичным.

Точное выполнение равенств будет иметь место, если при умножениях результаты выписываются со всеми получаемыми знаками.

В схему вычислений была включена сумма квадратов свободных членов условных уравнений [*ll*]; она не нужна для составления нормальных уравнений, но потребуется для вычисления суммы квадратов остающихся погрешностей.

После проверки коэффициентов нормальных уравнений напишем нормальные уравнения, учитывая, что коэффициенты условных уравнений, особенно свободные члены, — числа приближенные, поэтому не все формально полученные знаки верны. Мы оставили в коэффициентах нормальных уравнений по два знака после запятой — столько же, сколько их было в коэффициентах условных уравнений; при отбрасывании знаков соблюдаются правила округления.

Б. Нормальные уравнения. Решение по способу Гаусса:

	Контрольные числа
$28{,}87x - 13{,}08y - 1{,}76z + 200{,}13 = 0$	$+214{,}17$
$-13{,}08x + 21{,}60y - 5{,}40z - 46{,}63 = 0$	$-43{,}50$
$-1{,}76x - 5{,}40y + 12{,}04z - 18{,}56 = 0$	$-13{,}68$
$\bar{x} = -8{,}486x = 0{,}453y + 0{,}061z - 6{,}932$	1-я строка исключения
$15{,}67y - 6{,}20z + 44{,}04 = 0$	1-я промеж. система
$-6{,}20y + 11{,}93z - 6{,}36 = 0$	
$\bar{y} = -3{,}273z = +0{,}396z - 2{,}810$	2-я строка исключения
$9{,}47z + 11{,}06 = 0$	2-я промеж. система
$\bar{z} = -1{,}168$	(последняя)

$Б_1$. Вторичное решение нормальных уравнений. В системе нормальных уравнений поменяем местами первый и третий столбцы. Одновременно поменяем местами первое и третье уравнения. Решаем по схеме Гаусса:

	Контрольные числа
$12{,}04z - 5{,}40y - 1{,}76x - 18{,}56 = 0$	$-13{,}68$
$-5{,}40z + 21{,}60y - 13{,}08x - 46{,}63 = 0$	$-43{,}50$
$-1{,}76z - 13{,}08y + 28{,}87x + 200{,}13 = 0$	$+214{,}17$
$\bar{z} = -1{,}166z = +0{,}449y + 0{,}146x + 1{,}542$	
$19{,}18y - 13{,}87x - 54{,}96 = 0$	
$-13{,}87y + 28{,}61x + 197{,}42 = 0$	
$\bar{y} = -3{,}271y = +0{,}723x + 2{,}865$	
$18{,}58x + 157{,}68 = 0$	
$x = -8{,}487$	

Основные и повторные значения неизвестных согласуются достаточно хорошо; это означает, что ошибки от округлений малы. За окончательные значения неизвестных можно принять средние арифметические двух значений. Получаем:

$$\bar{x} = -8{,}486, \quad \bar{y} = -3{,}272, \quad \bar{z} = -1{,}167.$$

В. Вычисление остающихся погрешностей и средней ошибки одного уравнения.

Сначала вычислим остатки каждого из условных уравнений. Результаты запишем в столбце рядом с условными уравнениями (они обозначены ε_1, ε_2, ...). Там же приведены значения ε_k^2 и их сумма $S = 11{,}70$. Вычисление S по формуле

$$S = [ll] + \bar{x}\,[al] + \bar{y}\,[bl] + \bar{z}\,[cl]$$

дает $S = 11{,}06$.

Так как в этом значении накопление погрешностей несколько меньше, чем в сумме квадратов, то принимаем $S = 11{,}06$. По формуле имеем

$$\sigma^2 = \frac{11{,}06}{7-3} = 2{,}76; \quad \sigma = 1{,}66.$$

Из остаточных погрешностей нет ни одной, которая заметно превышала бы единичную среднюю ошибку. Поэтому можно считать, что в измерениях не было грубых ошибок (по крайней мере крупных).

Г. Вычисление весов и средних ошибок неизвестных.

По правилу Гаусса первое решение нормальных уравнений дает вес

$$p_z = 9,47.$$

По дополнению к правилу Гаусса

$$p_y = 9,47 \cdot \frac{15,67}{11,93} = 9,47 \cdot 1,31 = 12,41.$$

Второе решение даст

$$(p_x) = 18,58, \quad (p_y) = 18,58 \cdot \frac{19,18}{28,61} = 18,58 \cdot 0,670 = 12,45.$$

Здесь скобка означает контрольное значение.

Примем веса такими:

$$p_x = 18,6, \quad p_y = 12,4, \quad p_z = 9,47.$$

Средние квадратичные ошибки неизвестных определяются по формулам

$$\sigma_x^2 = \frac{2,76}{18,6} = 0,148, \quad \sigma_y^2 = \frac{2,76}{12,4} = 0,223, \quad \sigma_z^2 = \frac{2,76}{9,47} = 0,291.$$

Отсюда

$$\sigma_x = 0,385, \quad \sigma_y = 0,472, \quad \sigma_z = 0,539.$$

Результаты можно написать в виде

$$x = -8,486 \pm 0,385, \ y = -3,272 \pm 0,472, \ z = -1,167 \pm 0,539.$$

Принимая во внимание, что средние ошибки неизвестных не малы, можно считать, что выписанные формально знаки в приближенных значениях неизвестных не все надежны. Поэтому можно записать результаты и так:

$$x = -8,5 \pm 0,4, \quad y = -3,3 \pm 0,5, \quad z = -1,2 \pm 0,5;$$

наиболее ненадежно определяется из сделанных наблюдений величина z.

§ 4. Приближенное изображение функциональной зависимости

1. Постановка задачи. Наблюдения дали ряд значений функции x и аргумента t (или нескольких аргументов). Требуется построить функцию, которая достаточно удовлетворительно представляла бы наблюденный (эмпирический) материал.

Такие функции часто называют *эмпирическими*. Назначение эмпирических функций:

а) использование для интерполяции, т. е. для приближенного вычисления значений функции при таких значениях аргумента, которых нет в таблице наблюдений;

б) поиски связей между величинами, чтобы изучить хотя бы приближенные законы явления.

Постановка задачи имеет смысл в том случае, если учтены все те аргументы, которые существенно влияют на значения функции. При решении задачи надо считаться с тем, что значения функции искажены случайными ошибками измерений и неучтенным влиянием других аргументов, которые по предположению вносят дополнительные небольшие ошибки.

Из содержания задачи видно, что необходимо ввести два соглашения, чтобы задача стала определенной:

1) соглашение о выборе аналитического вида функции;

2) соглашение о том, что значит понятие «удовлетворительного» (возможно, лучшего) представления наблюдений.

Простейшим методом, решающим одновременно оба вопроса, является *графическая интерполяция* в случае функции одного аргумента. По наблюдениям строят график, введя прямоугольную систему координат (t, x). Затем проводят плавную кривую («от руки») между точками графика так, чтобы она примерно одинаково отклонялась от эмпирических точек. Этот способ не годится для вывода формулы, но он может быть использован для интерполяции: задавая значение аргумента, откладываем его на оси абсцисс и в полученной точке восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с кривой. Ордината точки пересечения определит искомое значение функции.

В этом способе оба указанных вопроса (выбор формулы и соглашение о точности приближения) решает глаз исследователя. Способ можно использовать только в тех задачах, в которых можно ограничиться грубыми результатами и пренебречь последствиями произвола исследователя.

II. Выбор вида эмпирической формулы. Выбор аналитической структуры функции, представляющей приближенно данную табличную функцию, есть наиболее неопределенная часть работы.

В § 1 этой главы решалась задача о приближении табличной функции (только для интерполирования). Там в качестве приближающей функции брался алгебраический полином; иногда при точечной интерполяции берут тригонометрический полином.

Алгебраическими полиномами часто пользуются и при построении эмпирических формул, но условие об удовлетворительности приближения берется иное.

Независимо от типа формулы можно сделать одно общее указание: формула должна содержать несколько параметров, чтобы можно было подбором значений параметров получить приближение к любой табличной функции, полученной наблюдениями. Как будет ясно из следующего пункта, весьма желательно, чтобы параметры входили линейно или формула простыми преобразованиями приводилась к линейному виду. Простейшим типом таких формул являются алгебраические полиномы, так как в них подлежат определению коэффициенты, а всякий алгебраический полином представляет линейную функцию своих коэффициентов.

Приведем примеры формул, легко приводящихся к линейному относительно параметров виду. Атмосферная рефракция на разных высотах светила над горизонтом может быть приближенно представлена формулой вида

$$R = \frac{a}{b + \operatorname{tg} h},$$

где a и b — параметры, подлежащие определению по сведениям о величине рефракции при ряде значений h.

Формула нелинейна относительно b; если освободиться от знаменателя, получим:

$$a - Rb = R \operatorname{tg} h,$$

и формула превращается в линейную относительно параметров.

Второй пример: пусть рассматривается явление непрерывного роста или убывания, для которого следует взять формулу, содержащую показательную функцию

$$x = ae^{bt};$$

в ней a и b — параметры, e — основание натуральных логарифмов. Формула нелинейна относительно параметра b. Логарифмируем равенство по основанию 10:

$$\lg x = \lg a + bt \lg e.$$

Обозначим $\lg a = \alpha$, $b \lg e = \beta$, $\lg x = \eta$, где α и β — новые параметры, а η — новая функция.

Получаем формулу

$$\eta = \alpha + \beta t,$$

линейную относительно параметров α и β и для функции η. Определив по наблюдениям числа α и β, перейдем к начальному виду формулы потенцированием.

Оба примера показывают, что не всегда следует искать приближенные формулы непосредственно для наблюдаемых величин. В первом примере естественный аргумент h заменен его функцией $\operatorname{tg} h$. Во втором примере вместо функции x берется $\eta = \lg x$.

Определенных правил для подбора эмпирических формул не может быть. Можно дать только некоторые общие указания.

1) Если речь идет о функции x одного аргумента t, т. е. даны числа

$$t_1,\ t_2,\ \ldots,\ t_n,$$

$$x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n,$$

то выбирают оси прямоугольных координат $(t,\ x)$ и строят по точкам график, который даст общее представление о возможном виде графика искомой функциональной зависимости. В дополнение к этому строят еще два-три графика не для самих t и x, а для некоторых их функций, например логарифмов или тригонометрических функций.

По виду графиков можно попробовать выяснить, какой функцией лучше приближенно представить материал.

Если, например, можно наметить прямую, около которой группируются точки графика, то естественно попробовать подобрать линейную эмпирическую формулу.

Если точки располагаются вдоль обеих осей координат, т. е. как бы группируются около равносторонней гиперболы, то, взяв за основу уравнение такой гиперболы ($xt = c$) и добавив парамет-

ры, чтобы сделать уравнение более гибким, пробуют представить эмпирический материал функцией

$$x = a + \frac{c}{t + b}.$$

Эта формула легко приводится к линейной относительно параметров:

$$bx - at - m + tx = 0,$$

где $m = ab + c$. После вычисления b, a, m легко вычислить и c.

Если точки можно считать расположенными вдоль некоторой кривой, имеющей максимум, то в первую очередь пробуют представить материал параболой второго порядка:

$$x = a + bt + ct^2.$$

Если представление будет признано недостаточно удовлетворительным, то можно попытаться повысить степень полинома. Сказанное относится одинаково как к графику, построенному по (t, x), так и по функциям $\varphi(t)$ и $\psi(x)$.

2) Если ищется связь между функцией и несколькими аргументами, то графический способ подыскания вида функциональной связи не может быть использован. Приходится прибегать к косвенным физическим соображениям, чтобы получить вид функции.

Если, например, по физическим соображениям можно считать, что x есть периодическая функция t с периодом P и зависит еще неизвестным способом от аргумента u, то можно попробовать функцию

$$x = (a + bu + cu^2) \sin \frac{2\pi t}{P}$$

или

$$x = (a + bu) \sin \frac{2\pi t}{P} + (c + du) \cos \frac{2\pi t}{P},$$

a, b, c, d — параметры, которые нужно найти по таблице значений функции и аргументов.

III. Определение значений параметров эмпирической формулы. Как указано в п. I, необходимо ввести соглашение о смысле понятий — хорошее приближение, наилучшее приближение и т. п.

В основе лежит таблица результатов измерений значений функции x при разных значениях аргумента t, также полученных измерениями. Результаты измерений всегда содержат случайные ошибки, которыми по большей части нельзя пренебрегать. Из этого следует, что нет смысла пользоваться условием, введенным в § 1, — так подбирать параметры приближающей функции

(коэффициенты полинома в § 1), чтобы она точно представляла таблицу. Достаточно, чтобы на графике кривая функциональной зависимости проходила вблизи точек, изображающих наблюдения (в случае функции одного аргумента). Если исследуется функция нескольких аргументов, то совершенно достаточно, чтобы отклонения эмпирической функции от наблюдений не превышали предельных погрешностей функции (если они известны или могут быть оценены).

Можно еще сказать, что на графике каждая точка должна быть окружена небольшой областью, в которой могла бы оказаться наблюдаемая точка при несколько иной случайной комбинации причин, вызывающих случайные ошибки. Если такие области возможно построить, то достаточно, чтобы кривая прошла через все области. В таком виде задача не ставится.

Обычно вводятся некоторые соглашения о способе вычисления параметров.

В настоящее время чаще всего применяется способ наименьших квадратов. Если эмпирическая формула линейна относительно параметров (или может быть приведена к линейности простыми преобразованиями), то подстановка значений t и x, полученных из наблюдений, дает систему линейных условных уравнений для вычисления параметров.

Эта система решается по способу наименьших квадратов (см. § 3, п. III). Применение в задаче об эмпирических функциях принципа Лежандра в ряде задач не имеет вероятностного значения, а представляет просто соглашение о способе вычисления параметров. При вычислении параметров следует вычислить и их средние ошибки для того, чтобы можно было решить вопрос о числе знаков, которые можно считать надежными в параметрах. Если, например, для параметра a получили значение $3{,}487 \pm \pm 0{,}023$, то ясно, что нет смысла сохранять в результате тысячные доли; следует принять $a = 3{,}49 \pm 0{,}02$. Это означает, что сотые доли не совсем надежны. Весьма важно, чтобы были вычислены все остающиеся погрешности; это даст возможность оценить качество приближения и выявить ненадежные наблюдения.

Порядок вычислений такой же, как в применении способа наименьших квадратов в теории ошибок. Если выбранная формула нелинейна относительно параметров, то необходимо привести систему условных уравнений к линейному виду способом, описанным в книге Б. М. Щиголева «Математическая обработка наблюдений».

IV. Проверка пригодности эмпирической формулы. После вычисления коэффициентов эмпирической формулы необходимо проверить, как формула представляет те наблюдения, из которых она выведена. Это значит, что нужно вычислить невязки всех условных уравнений, подставляя в них вычисленные значения коэффициентов.

Пусть строилась формула для функции $x = x(t)$ или функции нескольких аргументов и есть возможность установить предельные погрешности измерения (или вычисления) x.

Если большинство невязок (остатков) по модулю меньше предельных погрешностей, а остальные незначительно превышают их, то эмпирическую формулу можно считать вполне удовлетворительной.

Если модули почти всех невязок больше предельных погрешностей, остальные хотя и меньше, но мало отличаются, то эмпирическая формула явно неудовлетворительна.

На практике редко бывают такие крайние случаи; кроме того, не всегда можно указать предельные погрешности.

В большинстве задач качество приближения с помощью эмпирической формулы оценивается вероятностными способами. Если условные уравнения, определяющие параметры формулы, можно считать равноточными, то достаточной суммарной характеристикой можно считать среднюю квадратичную ошибку измерения с весом единица.

Если эта величина порядка возможных ошибок измерения значений функции, то приближение можно считать удовлетворительным.

Работа по построению хорошей эмпирической формулы иногда бывает длительной, так как в случае неудовлетворительного представления первой взятой формулой надо ее изменить или усложнить, чтобы попытаться получить лучший результат.

Если в результате такой работы удастся подобрать формулу, которая удовлетворительно представляет разный наблюдательный материал, то можно думать, что найдена *приближенная закономерность в исследуемом явлении*. Один из известных примеров: зависимость период — светимость у цефеид.

§ 5. Корреляция

1. Корреляционная связь между двумя величинами. Назовем *статистической совокупностью* собрание объектов, объединенных в группу по одним качественным или количественным признакам и отличающихся друг от друга по другим признакам. Цель изучения статистических совокупностей — вывод числовых характеристик для них, которые можно было бы считать в какой-то степени характеризующими совокупность.

В этом параграфе рассматриваются двумерные совокупности, т. е. такие, в которых указаны значения двух величин, характеризующих свойства каждого из объектов совокупности.

Примеры: а) из каталога элементов орбит малых планет выписаны только большие полуоси и эксцентриситеты; б) из каталога цефеид выписаны для каждой звезды период и светимость. В первом примере общее у всех объектов — то, что это малые планеты; они отличаются одна от другой величинами средних рас-

стояний и эксцентриситетов. Во втором примере общее—характерные для цефеид кривые блеска; отдельные звезды отличаются одна от другой разными количественными признаками, из которых отбирают только два: период и светимость.

Довольно часто в изучаемых двумерных совокупностях те величины, значения которых даны в совокупности, обнаруживают связь, отличную от функциональной, которую можно назвать *связью в среднем*. Часто употребляется название *корреляционная связь*; говорят иногда, что рассматриваемые величины находятся в корреляции.

Признаки корреляционной связи:

а) если выписать разные значения каждой из величин, то всякому значению одной величины соответствует неопределенное количество значений другой (одному — два значения, другому — четыре, и т. д.);

б) если вычислить средние значения одной величины, соответствующие разным значениям другой, то между этими числами может существовать связь, более или менее близкая к функциональной связи.

Полем корреляции называется график, построенный следующим образом: выбирается прямоугольная система координат (u, v), где u и v — обозначения рассматриваемых величин; по каждой паре u_k, v_k ($k = 1, 2, \ldots, n$ — число пар) значений, взятых из каталога, строится точка.

В обычных задачах поле корреляции представляет собрание точек, разбросанных более или менее беспорядочно. Одним крайним случаем можно считать расположение всех точек на некоторой кривой; это — случай вырождения корреляционной связи между величинами в точную функциональную связь. В действительности даже при наличии функциональной зависимости v только от u точного расположения точек поля на кривой не будет вследствие наличия случайных ошибок в результатах наблюдений.

Другой крайний случай — средние значения одной величины не зависят от соответствующих значений другой. В этом случае можно сказать, что никакой связи в среднем нет и точки поля корреляции разбросаны приблизительно равномерно.

Построим на поле корреляции точки с координатами $(u_k, \bar{v}_k)$, где $\bar{v}_k$ — среднее из разных v, которые наблюдались вместе с u_k. Если все такие точки соединить отрезками прямых, то получится ломаная, представляющая приближенно зависимость средних v от u. Эту ломаную можно условно назвать *эмпирической линией регрессии*.

Если можно подобрать функцию, представляющую удовлетворительно указанную связь, то ее называют *уравнением регрессии*, а соответствующую линию — *линией регрессии* v по u (говорят также: v на u).

Аналогично можно построить эмпирическую регрессию u по v, т. е. зависимость средних u от соответствующих v.

Так как обычно ограничиваются исследованием *линейной корреляции*, т. е. представляют эмпирическую регрессию линейной функцией, то нередко бывает, что нельзя исследовать корреляцию непосредственно по наблюденным значениям величин, а придется попробовать подобрать функции заданных величин так, чтобы соответствующие эмпирические линии регрессии были близки к прямым. В подобных случаях говорят, что сначала нужно решить, что «коррелировать», точнее, какие функции величин нужно «коррелировать», чтобы связь была близка к линейной.

Задачи по теории корреляции:

1) Вывод уравнений регрессии заданного вида из материала наблюдений или для функций наблюдавшихся величин. (Мы ограничимся линейными уравнениями регрессии; их будет два).

2) Вывод числового критерия для оценки степени уклонения корреляционной связи от линейной (ибо рассматриваются линейные уравнения регрессии).

II. Исследование корреляции при небольшом числе наблюдений.

1. Материал. Материалом является простой список наблюдений, который не подвергается никакой подготовке, кроме, быть может, некоторого смещения начала отсчета для одной или обеих величин. Это делается в том случае, когда значения u и v — многозначные числа, меняющиеся в сравнительно небольшой области. Если, например, наблюдения значений u дали числа 373, 385, 403, 421, 435, то естественно вместо них временно для упрощения вычислений ввести числа $x = u - u_0$, где u_0 выбирается произвольно — где-нибудь около середины области. В нашем иллюстративном примере можно принять $u_0 = 403$. Материалом, с которым будут производиться вычисления, будут числа:

$$x_k \parallel -30, \ -18, \ 0, \ +18, \ +32.$$

Количество материала, при котором работают непосредственно с результатами наблюдений или функциями результатов наблюдений, не может быть определено по каким-нибудь обоснованным правилам. Практика показывает, что при количестве наблюдений примерно до 50 нет смысла строить и обрабатывать таблицу, которая будет описана в п. III.

Если количество наблюдений не превышает 50, то рекомендуется применять приемы, описанные в этом пункте.

2. Числовые характеристики совокупности двух величин. Над каждой из двух величин производим такие же вычисления, какие в теории ошибок производились над результатами измерения одной определенной величины. Это значит, что вычисляются средние значения по формулам

$$\bar{u} = \frac{\sum_{k=1}^{n} u_k}{n}, \quad \bar{v} = \frac{\sum_{k=1}^{n} v_k}{n}$$

и средние квадратичные отклонения:

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} (u_k - \bar{u})^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} u_k^2 - \bar{u}^2,$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} (v_k - \bar{v})^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} v_k^2 - \bar{v}^2.$$

Разница с теорией ошибок в том, что в ней среднее значение было приближенным значением измеряемой определенной величины, а здесь это числовая характеристика случайной величины, приближенное значение математического ожидания. Аналогично σ_u и σ_v — не средние ошибки, а средние отклонения от среднего, т. е. тоже числовые характеристики распределения случайных величин u и v, рассматриваемых отдельно.

В формулах для σ_u и σ_v в знаменателе взято n, а не $n-1$, как в теории ошибок, так как в рассматриваемой задаче n не может быть очень малым и практически безразлично, взять n или $n-1$.

Кроме этого, вычисляется величина, зависящая от значений обеих величин по формуле

$$\mu_{11} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} (u_k - \bar{u})(v_k - \bar{v})$$

или

$$\mu_{11} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} u_k v_k - \bar{u}\bar{v}.$$

После этого вычисляется *коэффициент корреляции* по формуле

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_u \sigma_v}.$$

Коэффициент корреляции можно считать мерой уклонения корреляционной связи от линейной функциональной связи. Он может иметь значения от -1 до $+1$. Значения -1 и $+1$ будут в случае точной линейной зависимости между величинами. Значение 0 означает отсутствие связи в том смысле, что среднее значение каждой величины не зависит от значений другой величины. Числа $\bar{u}$, $\bar{v}$, σ_u, σ_v и r представляют числовые характеристики совокупности двух величин u и v.

Примечание. Если вычисления велись с числами $x = u - u_0$ и $y = v - v_0$, то это нужно учесть только при вычислении средних:

$$\bar{u} = u_0 + \bar{x}, \quad \bar{v} = v_0 + \bar{y}.$$

На значения σ_u, σ_v и r перенос начала отсчета не влияет. Значит,

$$\sigma_x = \sigma_u, \quad \sigma_y = \sigma_v$$

и значение r получается одним и тем же по числам x, y или по числам u, v.

Коэффициент корреляции есть **число отвлеченное**, не зависящее ни от начала отсчета u и v, ни от единиц измерения.

3. **Уравнения регрессии.** Линейные уравнения регрессии имеют вид

$$v-\bar{v}=r\frac{\sigma_v}{\sigma_u}(u-\bar{u}),\quad u-\bar{u}=r\frac{\sigma_u}{\sigma_v}(v-\bar{v}),$$

где v и u, стоящие в левых частях, представляют средние значения v и u в зависимости от значений u и v соответственно. Поэтому уравнения регрессии можно писать и в другой форме:

$$\bar{v}_u-\bar{v}=r\frac{\sigma_v}{\sigma_u}(u-\bar{u}),\quad \bar{u}_v-\bar{u}=r\frac{\sigma_u}{\sigma_v}(v-\bar{v}),$$

где $\bar{v}_u$ — среднее значение v в зависимости от u, аналогичный смысл имеет $\bar{u}_v$. Уравнениями регрессии можно пользоваться как эмпирическими формулами для вычисления средних значений одной величины по значениям другой величины.

Средние ошибки уравнений регрессии вычисляются по формулам

$$s_v=\sigma_v\sqrt{1-r^2},\quad s_u=\sigma_u\sqrt{1-r^2}.$$

Чем ближе $|r|$ к единице, тем меньше средние ошибки уравнений регрессии.

4. **Пример.** В книге Б. В. Кукаркина «Исследование строения и развития звездных систем на основе изучения переменных звезд» (М.: Гостехиздат, 1949) приведены сведения о периодах P и абсолютных величинах M звезд типа Миры Кита. Материал уже отчасти обработан, как видно из таблицы значений, в которой шаг величины P почти постоянный.

Исследуем сначала корреляцию между P и M.

Имеем таблицу значений P и M:

№	P	x^2	x	xM	M	M^2
1	100	100	−10	+21,0	−2,1	4,41
2	150	64	−8	+18,4	−2,3	5,29
3	175	49	−7	+17,5	−2,5	6,26
4	200	36	−6	+13,2	−2,2	4,84
5	225	25	−5	+9,0	−1,8	3,24
6	250	16	−4	+6,0	−1,5	2,25
7	275	9	−3	+3,6	−1,2	1,44
8	300	4	−2	+1,8	−0,9	0,81
9	325	1	−1	+0,6	−0,6	0,36
10	350	0	0	0,0	−0,4	0,16
11	375	1	+1	−0,2	−0,2	0,04
12	400	4	+2	0,0	0,0	0,00
13	425	9	+3	+0,3	+0,1	0,01
14	450	16	+4	+0,8	+0,2	0,04
15	475	25	+5	+1,5	+0,3	0,09
16	500	36	+6	+2,4	+0,4	0,16
17	550	64	+8	+4,0	+0,5	0,25
18	600	100	+10	+6,0	+0,6	0,36
Суммы		559	−7	105,9	−13,6	30,00

Для упрощения вычислений не только изменено начало отсчета величины P, но еще изменен масштаб. Введена величина x, связанная с P равенством

$$x = \frac{P - 350}{25}.$$

Значения M имеют мало знаков, поэтому M не заменяется.

Вычисления:

$$\bar{x} = -\frac{7}{18} = -0,39; \quad \bar{P} = 350 + 25(-0,39) = 340;$$

$$\bar{M} = -\frac{13,6}{18} = -0,76; \quad \sigma_M^2 = \frac{30}{18} - (-0,76)^2 = 1,09; \quad \sigma_M = 1,04;$$

$$\sigma_x^2 = \frac{559}{18} - (-0,39)^2 = 31,06 - 0,15 = 30,9; \quad \sigma_x = 5,56; \quad \sigma_P = 5,56 \cdot 25 = 139.$$

Значения μ_{11} и r вычислим исходя из значений x и M. Имеем

$$\mu_{11} = \frac{105,9}{18} - (-0,39) \cdot (-0,76) = 5,88 - 0,30 = 5,58;$$

$$\sigma_x \cdot \sigma_M = 5,56 \cdot 1,04 = 5,78; \quad r = \frac{5,58}{5,78} = 0,96.$$

Для величин P и M напишем уравнения регрессии. Регрессия M по P:

$$M + 0,76 = 0,96 \cdot \frac{1,04}{139}(P - 340) = 0,00722\,(P - 340)$$

или $M = 0,00726\ P - 3,23$.

Проверим это уравнение для некоторых P:

P	100	200	300	400	500	600
M_0	−2,50	−1,78	−1,05	−0,33	+0,40	+1,13
$M_0 - M_c$	+0,4	−0,2	+0,1	+0,3	0,0	−0,5

M_c означает M, вычисленное по уравнению регрессии, M_0 — заданные значения M.

Несмотря на близость к единице коэффициента корреляции, представление связи между M и P уравнением регрессии нельзя считать очень хорошим. Отклонения довольно велики и знаки разностей между «наблюденными» и вычисленными значениями имеют систематический характер.

III. Исследование корреляции при большом числе наблюдений.

1. Корреляционная таблица. Обозначим исследуемые величины буквами u и v. Находим в исследуемой совокупности наименьшее и наибольшее значения величины u; если это многозначные числа, то первое число немного уменьшаем, а второе несколько увеличиваем, так чтобы границы области были числами с малым количеством значащих цифр.

Вся область изменения u делится на равные интервалы, число которых подбирается в зависимости от количества наблюдений. Чаще всего берут от 10 до 20 интервалов. Границы интервалов и значения u, соответствующие серединам интервалов, нужно брать так, чтобы в них было мало значащих цифр; особенно это существенно в серединах интервалов.

Совершенно такую же работу нужно выполнить с областью значений второй величины v. После этого построим сетку прямоугольных координат, проводя координатные линии через границы интервалов. Прямоугольная область возможных значений u и v разобьется на прямоугольные ячейки. Их число равно произведению числа интервалов области значений u на число интервалов области v. Если последние числа порядка десяти, то число ячеек будет порядка сотни. Каждой ячейке соответствуют некоторые интервалы u и v. Подсчитаем количество объектов, попадающих в каждую ячейку, т. е. имеющих u и v в границах, соответствующих ячейке. Запишем в таблицу результаты подсчета.

В результате получится таблица такого вида, который в примере занимает центральную часть вычислительной схемы, ограниченную снизу и справа жирными линиями (см. с. 548).

В виде заголовков наверху и слева у середин ячеек ставятся значения u и v в серединах соответствующих интервалов. Справа таблица дополняется столбцом, содержащим суммы чисел в горизонтальных полосах, что дает распределение величины v. Внизу добавляется горизонтальная полоса, в которой даются суммы чисел, стоящих в столбцах таблицы; эта полоса содержит распределение одной величины u (при всех v). Сумма чисел в присоединенном столбце должна равняться сумме чисел в добавленной полосе, что используется для контроля подсчетов. Расширенная корреляционная таблица содержит и распределение совокупности величин в основной части и (на краях внизу и справа) распределения каждой из величин в отдельности. Хотя для вычислений нужны эмпирические вероятности, но их на практике не определяют, все вычисления производят над численностями, а деления на общее число случаев выполняют в конце. Существенно отметить, что вся обработка ведется при следующем упрощении: число объектов в ячейке принимается за число случаев, когда u имело среднее значение интервала по u (аналогично и для v).

Для записи в п. III, 3 рабочих формул будем пользоваться следующими обозначениями:

n — общее число наблюдений;

σ — число интервалов величины u, их номера от 1 до σ;

s — число » » v, » » от 1 до s;

n_{kl} — число объектов, попавших в k-й интервал по u и, вместе с тем, в l-й интервал по v;

u_k — значение u в середине k-го интервала;

v_l — » v » » l-го »;

$\sum_{k=1}^{\sigma} n_{kl} = n_{0l}$ — численность в распределении одной величины u при $v = v_l$;

$\sum_{l=1}^{s} n_{kl} = n_{k0}$ — численность в распределении одной величины v при $u = u_k$.

2. Введение условных единиц измерения. Вычисления заметно упрощаются, если для каждой из величин ввести начало отсчета и масштаб так, чтобы получить в новых единицах числа с малым количеством значащих цифр. За новое начало отсчета величины u, которое мы назовем условным нулем, примем значение u в середине того интервала, в который попадет среднее значение u. По большей части это тот интервал, в котором численность наибольшая, если по обе стороны примерно одинаковое число случаев, т. е. нет заметной асимметрии в распределении одной величины u, которое находится в дополнительной нижней строке. При наличии заметной асимметрии условный нуль берется в середине соседнего интервала в той стороне, где численность больше. Неудачный выбор условного нуля не влияет на результаты, но несколько усложняет вычисления. После выбора места условного нуля шаг величины u, т. е. длина интервала величины u, принимается за единицу. С величиной v поступаем точно так же. Рассматривается дополнительный столбец справа, содержащий распределение величины v, отмечается середина того интервала, в котором число объектов наибольшее. Это значение и принимается за условный нуль, если нет заметной асимметрии в численностях по обе стороны от указанного интервала. Масштаб величины v тоже изменяется: величина шага принимается за единицу.

После введения условных нулей и масштабов величины u и v заменяются величинами x и y, которые связаны с заданными величинами равенствами

$$x = \frac{u - u_0}{g}, \quad y = \frac{v - v_0}{h},$$

где u_0 и v_0 — значения, соответствующие условным нулям, g и h — длины интервалов. Введение величин x и y удобно тем, что эти величины принимают отрицательные и положительные целые значения по обе стороны от условного нуля.

Пусть, например, распределение одной величины u имеет такой вид:

Значения u в серединах интервалов	4	12	20	28	36	44
Численности	3	13	26	10	5	1
Значения x	−2	−1	0	+1	+2	+3

В качестве условного нуля принимаем середину третьего интервала, где наибольшая численность 26, т. е. $u_0 = 20$. Значения x выписаны в третьей строке.

Переход от величин x и y обратно к u и v потребуется только для определения средних $\bar{u}$, $\bar{v}$ и σ_u, σ_v по формулам

$$\bar{u} = u_0 + g\bar{x}, \quad \bar{v} = v_0 + h\bar{y}, \quad \sigma_u = g\sigma_x, \quad \sigma_v = h\sigma_y,$$

где $\bar{x}$ и $\bar{y}$ — средние значения u и v в условных единицах. Так как коэффициент корреляции — величина безразмерная, то его достаточно вычислить, пользуясь значениями x и y.

3. Рабочие формулы. а) Вычисление *средних* значений ведется по формулам

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\sigma} n_{k0} x_k, \qquad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{l=1}^{s} n_{0l} y_l,$$

где x_k и y_l — целые отрицательные и положительные числа, как в приведенном выше иллюстративном примере. Поэтому вычисление средних выполняется легко и быстро. Столбец произведений чисел n_{0l} на y_l и строку произведений чисел n_{k0} на числа x_k надо выписать, так как обе линии будут нужны на следующем этапе вычислений.

б) Вычисление *средних отклонений:*

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\sigma} n_{k0} x_k^2 - \bar{x}^2},$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{l=1}^{s} n_{0l} y_l^2 - \bar{y}^2}.$$

в) Вычисление *коэффициента корреляции:*

$$\mu_{11} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\sigma} \sum_{l=1}^{s} n_{kl} x_k y_l - \bar{x}\bar{y},$$

$$r = \frac{\mu_{11}}{\sigma_x \sigma_y}.$$

Вычисление двойной суммы для определения величины μ_{11} можно выполнить двумя способами.

Простейший (но не лучший) способ — в каждую ячейку основной таблицы вписывается произведение чисел n_{kl} на x_k и y_l, соответствующие ячейке; числа надо вписать не тем цветом чернил, каким вписаны числа n_{kl}. Все эти произведения складываются по всей таблице, и получается упомянутая двойная сумма. Сложение лучше выполнить сначала по строчкам и выписать суммы в дополнительном столбце справа. Затем произведения складываются по столбцам основной корреляционной таблицы и записываются в дополнительной строке внизу. Сложение всех чисел в дополнительном столбце даст двойную сумму; тот же результат дает сложение чисел дополнительной строки.

Второй способ заключается в том, что в каждой горизонтальной полосе числа n_{kl} умножаются на числа x_k и складываются. Обе операции делаются в уме, и результаты записываются в столбце (после столбца, содержащего числа $n_{0l} \cdot y_l^2$); полученные числа $\sum_{k=1}^{\sigma} n_{kl} x_k$ для последовательных l умножаются на y_l, и произведения записываются в следующем столбце. Сложение всех чисел этого столбца и дает нужную двойную сумму.

Совершенно аналогично с заменой значков k на l и чисел x_k на y_l заполняются две строки внизу; в каждом столбце числа n_{kl}

умножаются на y_l и произведения складываются; получается строка, заполненная числами

$$\sum_{l=1}^{s} n_{kl} y_l.$$

Умножение этих чисел на x_k дает еще одну строку, сложение чисел которой дает двойную сумму второй раз, что обеспечивает контроль.

Второй способ удобен тем, что первая дополнительная строка позволяет легко вычислить эмпирическую регрессию средних y по x, а первый дополнительный столбец даст эмпирическую регрессию x по y.

г) *Эмпирическая регрессия в условных единицах.* Предпоследний столбец, полученный при вычислении двойной суммы вторым способом, дает:

$$\bar{x}_y = \frac{1}{n_{0l}} \sum_{k=1}^{\sigma} n_{kl} x_k,$$

где $\bar{x}_y$ есть среднее значение x при последовательных значениях y.

Полученный столбец чисел и дает эмпирическую регрессию x по y.

Предпоследняя строка, полученная при вычислениях двойной суммы по второму способу, дает эмпирическую регрессию y по x. Если числа предпоследней строки поделить на числа строки n_{k0} (распределение x), то получим:

$$\bar{y}_x = \frac{1}{n_{k0}} \sum_{l=1}^{s} n_{kl} y_l, \quad k = 1, 2, \ldots$$

д) *Теоретические уравнения регрессии в условных единицах.* Уравнения имеют вид

$$\bar{y}_x - \bar{y} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (x - \bar{x}), \quad \bar{x}_y - \bar{x} = r \frac{\sigma_x}{\sigma_y} (y - \bar{y}).$$

Эти уравнения регрессии и нужно сравнивать с эмпирической регрессией, когда хотят выяснить более детально пригодность линейных уравнений регрессии. Для этого в первое уравнение вместо x подставляют последовательные значения x_k и вычисляют по уравнению значения $\bar{y}_{x,k}$; они сравниваются с числами $\bar{y}_x$ эмпирической регрессии.

Аналогично в правую часть второго линейного уравнения регрессии подставляют последовательные значения y_l и вычисляют $\bar{x}_{y,l}$; эти числа нужно сравнить с эмпирическими $\bar{x}_y$.

е) *Уравнения регрессии в основных единицах.* Линейные уравнения регрессии можно использовать как эмпирические формулы для исследования связи в среднем. Для этой цели удобно иметь их в тех единицах, в каких обычно измеряются исследуемые величины. Они имеют вид

$$\bar{v}_u - \bar{v} = r \frac{\sigma_v}{\sigma_u} (u - \bar{u}), \quad \bar{u}_v - \bar{u} = r \frac{\sigma_u}{\sigma_v} (v - \bar{v}).$$

4. **Пример схемы вычислений.** Исследуется корреляция между относительной влажностью по психрометру и гигрометру.

Вычисления вне схемы:

Средние

$$\bar{x} = +\frac{74}{240} = +0{,}308,$$

$$\bar{y} = +\frac{54}{240} = 0{,}225,$$

$$\bar{u} = 65 + 0{,}308 \cdot 10 = 68{,}08,$$
$$\bar{v} = 65 + 0{,}225 \cdot 10 = 67{,}25.$$

Средние отклонения:

$$\sigma_x^2 = \frac{1066}{240} - (0{,}308)^2 = 4{,}347,$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1062}{240} - (0{,}225)^2 = 4{,}374,$$

$$\sigma_x = 2{,}085, \ \sigma_u = 20{,}85, \quad \sigma_y = 2{,}092, \ \sigma_v = 20{,}92.$$

Коэффициент корреляции:

$$\sigma_x\sigma_y = 4{,}362, \ \bar{x}\bar{y} = 0{,}0693,$$
$$\mu_{11} = \frac{1046}{240} - 0{,}690 = 4{,}289, \qquad r = \frac{4{,}289}{4{,}362} = 0{,}983.$$

Уравнения регрессии:

$$\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 1{,}003, \qquad \frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0{,}997,$$

$$r\frac{\sigma_y}{\sigma_x} = 0{,}986, \quad r\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = 0{,}980,$$

$$\overline{y}_x - 0{,}225 = 0{,}986\,(x - 0{,}308), \quad \overline{x}_y - 0{,}308 = 0{,}980\,(y - 0{,}225),$$
$$\overline{y}_x = 0{,}986x - 0{,}079, \quad \bar{x}_y = 0{,}980y + 0{,}088.$$

Средние ошибки уравнений регрессии:

$$1 - r^2 = 0{,}0337, \qquad \sqrt{1 - r^2} = 0{,}184,$$
$$s_y = 2{,}092 \cdot 0{,}184 = 0{,}385, \qquad s_x = 2{,}085 \cdot 0{,}184 = 0{,}384.$$

Описание схемы. Показания гигрометра обозначены u, психрометра — v, В первом столбце даны значения v в серединах интервалов, во втором столбце — значения той же величины в условных единицах, обозначенные через y: Следующие восемь столбцов (ограничены жирными линиями справа и внизу) представляют основную корреляционную таблицу (см. с. 548).

В (11)-м столбце дано распределение величины v при всех u или распределение y при всех x. В (12)-м и (13)-м столбцах — числа, которые после суммирования (между двумя горизонтальными жирными линиями) дадут числа, нужные для вычисления среднего значения $\bar{y}$ и дисперсии величины.

Числа (14)-го столбца получаются по второму способу подсчета двойной суммы, описанному в предыдущем пункте. Например, числа —66 и +93 получаются так:

$$-66 = 4 \cdot (-3) + 24 \cdot (-2) + 6 \cdot (-1);$$
$$+93 = 2 \cdot 1 + 41 \cdot 2 + 3 \cdot 3.$$

Числа (15)-го столбца получаются умножением чисел (14)-го столбца на числа (2)-го столбца. Числа (16)-го столбца получаются делением чисел (14)-го столбца на числа (11)-го столбца и дают эмпирическую зависимость средних $\bar{x}$ от y. Числа

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	
(1)	v_l	u_k	25	35	45	55	65	75	85	95	n_{0l}	$y_l n_{0l}$	$y_l^2 n_{0l}$	$\sum_k x_k n_{0l}$	$y_l \sum_k x_k n_{kl}$	$\bar{x}_{y,l}$	$\bar{x}_y$	(1)
(2)	y	x	−4	−3	−2	−1	0	+1	+2	+3								(2)
(3)	25	−4	10	2							12	−48	192	−46	184	−3,83	−3,83	(3)
(4)	35	−3		14	2						16	−48	144	−46	138	−2,88	−2,85	(4)
(5)	45	−2		4	24	6					34	−68	136	−66	132	−1,94	−1,87	(5)
(6)	55	−1				24	2				26	−26	26	−24	24	−0,92	−0,89	(6)
(7)	65	0					23	7			30	0	0	+7	0	+0,23	+0,09	(7)
(8)	75	+1					1	31	6		38	+38	38	+43	43	+1,13	+1,07	(8)
(9)	85	+2						2	41	3	46	+92	184	+93	186	+2,02	+2,05	(9)
(10)	95	+3							1	37	38	+114	342	+113	339	+2,97	+3,03	(10)
(11)	n_{k0}		10	20	26	30	26	40	48	40	240 / 240	+54	1062		1046			(11)
(12)	$x_k n_0$		−40	−60	−52	−30	0	+40	+96	+120	+74							
(13)	$x_k^2 n_{k0}$		160	180	104	30	0	40	192	360	1066							
(14)	$\sum_l y_l n_{kl}$		−40	−58	−54	−36	−1	+35	+91	+117								
(15)	$x_k \sum_l y_l n_{kl}$		160	174	108	36	0	35	182	351	1046							
(16)	$\bar{y}_{x,k}$		−4,00	−2,90	−2,08	−1,20	−0,04	+0,88	+1,90	+2,92								
(17)	$\bar{y}_x$		−4,02	−3,04	−2,05	−1,06	−0,08	+0,91	+1,89	+2,88								

(17)-го столбца вычисляются по уравнению регрессии x по y при табличных значениях y. Сравнение чисел (16)-го и (17)-го столбцов дает представление о качестве приближения с помощью линейных уравнений регрессии.

Строки схемы аналогичны столбцам, надо только заменять x на y и обратно.

Заключение о примере. Коэффициент корреляции достаточно близок к единице. Сравнение чисел (16)-го и (17)-го рядов (столбцов и строк) показывает вполне удовлетворительное приближение линейной функцией. Поэтому можно считать, что связь между величинами близка к линейной, и линейными уравнениями регрессии можно пользоваться для вычисления средних значений одной величины по значениям другой. Для этого только надо написать уравнения регрессии в основных единицах (в процентах), а не в условных.

ТАБЛИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕРПОЛЯЦИОННЫХ ФОРМУЛ

Таблица XXX

Формула Ньютона

Нормированный аргумент	Коэффициент при 1-й разности	Коэффициент при 2-й разности	Коэффициент при 3-й разности	Коэффициент при 4-й разности
0,00	0,00	0,00000	0,0000	0,0000
±0,05	±0,05	—0,02375	±0,0154	—0,0114
±0,10	±0,10	—0,04500	±0,0285	—0,0207
±0,15	±0,15	—0,06375	±0,0393	—0,0280
±0,20	±0,20	—0,08000	±0,0480	—0,0336
±0,25	±0,25	—0,09375	±0,0547	—0,0376
±0,30	±0,30	—0,10500	±0,0595	—0,0402
±0,35	±0,35	—0,11375	±0,0626	—0,0415
±0,40	±0,40	—0,12000	±0,0640	—0,0416
±0,45	±0,45	—0,12375	±0,0639	—0,0408
±0,50	±0,50	—0,12500	±0,0625	—0,0391

Примечание. В столбцах с двойными знаками верхний знак — для интерполяции вперед, нижний — для интерполяции назад (аргумент отрицателен).

Таблица XXXI

Значения функции $\Phi(z) = \int_0^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

z	Φ (z)	z	Φ (z)	z	Φ (z)	z	Φ (z)
0,0	0	1,0	0,341	2,0	0,477	3,0	0,4986
0,1	0,040	1,1	0,364	2,1	0,482	3,1	0,4990
0,2	0,079	1,2	0,385	2,2	0,486	3,2	0,4993
0,3	0,118	1,3	0,403	2,3	0,489	3,3	0,4995
0,4	0,155	1,4	0,419	2,4	0,492	3,4	0,4997
0,5	0,191	1,5	0,433	2,5	0,494	3,5	0,4998
0,6	0,226	1,6	0,445	2,6	0,4953	3,6	0,4998
0,7	0,258	1,7	0,455	2,7	0,4965	3,7	0,4999
0,8	0,288	1,8	0,464	2,8	0,4974	3,8	0,4999
0,9	0,316	1,9	0,471	2,9	0,4981	3,9	0,5000
1,0	0,341	2,0	0,477	3,0	0,4986	4,0	0,5000

ТАБЛИЦЫ

Таблица I

Астрономические символы и обозначения

☉	Солнце, а также Воскресенье	↙	метеор
☾	Луна » » Понедельник	Var	переменная звезда
♂	Марс » » Вторник	☊	или ☊ восходящий узел орбиты
☿	Меркурий » » Среда	☋	или ☋ нисходящий узел орбиты
♃	Юпитер » » Четверг	☌	соединение (разность геоцентрических долгот 0°)
♀	Венера » » Пятница	☍	противостояние (разность долгот 180°)
♄	Сатурн » » Суббота	□	квадратура (разность долгот 90°)
♁	или ⊕ Земля	●	новолуние
⛢	или ♅ Уран	☽	первая четверть
♆	или ♆ Нептун	○	полнолуние
PL	или ♇ Плутон	☾	последняя четверть
✳	звезда		
☄	комета		

	Знаки Зодиака	*Геоцентр. долготы*		*Знаки Зодиака*	*Геоцентр. долготы*
♈	Aries Овен, а также точка весеннего равноденствия, которая теперь находится в созвездии Рыб	0°—30°	♎	Libra Весы, а также точка осеннего равноденствия, которая теперь находится в созвездии Девы	180°—210°
♉	Taurus Телец	30—60	♏	Scorpius Скорпион	210—240
♊	Gemini Близнецы	60—90	♐	Sagittarius Стрелец	240—270
♋	Cancer Рак, а также точка летнего солнцестояния, которая теперь находится в созвездии Близнецов, а в 1990 г. перейдет в созвездие Тельца	90—120	♑	Capricornus Козерог, а также точка зимнего солнцестояния, которая теперь находится в созвездии Стрельца	270—300
♌	Leo Лев	120—150	♒	Aquarius Водолей	300—330
♍	Virgo Дева	150—180	♓	Pisces Рыбы	330—360

N	Север, *NE* северо-восток	β	эклиптическая широта
S	Юг, *SE* юго-восток	φ	географическая широта
E	Восток, *NW* северо-запад	z	зенитное расстояние
W	Запад, *SW* юго-запад	μ	собственное движение
a	год	l	галактическая долгота
d	сутки	b	галактическая широта
h m s	час, минута, секунда времени	π	годичный параллакс
° ′ ″	градус, минута, секунда дуги	V_r	лучевая скорость
A	азимут	h	высота светила над горизонтом
α	или AR прямое восхождение	t	часовой угол светила
δ	склонение	s	звездное время
λ	эклиптическая долгота, а также географическая долгота		

Таблица 2а

Греческий алфавит

Α, α	альфа	Η, η	эта	Ν, ν	ни (ню)	Τ, τ	тау
Β, β	бэта	Θ, θ ϑ,	тета	Ξ, ξ	кси	Υ, υ	ипсилон
Γ, γ	гамма	Ι, ι	йота	Ο, ο	омикрон	Φ, φ	фи
Δ, δ	дельта	Κ, κ	каппа	Π, π	пи	Χ, χ	ки
Ε, ε	эпсилон	Λ, λ	лямбда	Ρ, ρ	ро	Ψ, ψ	пси
Ζ, ζ	дзета	Μ, μ	ми (мю)	Σ, σ	сигма	Ω, ω	омега

Таблица 2б

Латинский алфавит

A, a	а	H, h	ха (аш)	O, o	о	U, u	у
B, b	бэ	I, i	и	P, p	пэ	V, v	вэ
C, c	це	J, j	йот (жи)	Q, q	ку	W, w	(дубль-вэ)
D, d	дэ	K, k	ка	R, r	эр	X, x	икс
E, e	э	L, l	эль	S, s	эс	Y, y	ипсилон (игрек)
F, f	эф	M, m	эм	T, t	тэ	Z, z	зета (зэт)
G, g	гэ (же)	N, n	эн				

(в скобках указаны часто употребляемые французские названия, а также буква w, которой нет в латинском алфавите).

Таблица 3

Астрономические постоянные

А. XIV съездом МАС в 1976 г. утверждена *новая система астрономических постоянных*. Решено принять для а. е. значение 149 597 870 км (вытекающее из современных радиолокационных измерений межпланетных расстояний), что соответствует параллаксу Солнца 8",794 и постоянной аберрации 20",496.

По данным анализа движения ИСЗ отношение массы Земли к массе Луны принимается равным 81,30. Длину радиуса земного экватора приняли равной (6 378 140 ± ± 10) м. Сплюснутость земного эллипсоида (также из анализа движений ИСЗ) 1/298,257 (очень близко к сплюснутости эллипсоида Красовского). Таким образом, новая система основных и производных постоянных может быть суммирована следующим образом:

Основные постоянные

Гауссова гравитационная постоянная	$k = \sqrt{f} = 0{,}017\ 202\ 098\ 95$
Эфемеридная секунда	$s = 1/315\ 569\ 25{,}974\ 74$ тропического года эпохи 1900 г.
Экваториальный радиус Земли	$a_e = 6\ 378\ 140$ м
Геоцентрическая гравитационная постоянная, равная произведению $f \cdot \mathfrak{M}_♁$	$GE = 3{,}986\ 005 \cdot 10^{14}$ м³/с²
Постоянная тяготения (Кавендиша)	$G = 6{,}6742 \cdot 10^{-11}$ м³·кг⁻¹·с⁻¹ ± 18
Отношение масс Земли и Луны	$\frac{1}{\mu} = 81{,}30.$
Отношение масс Луны и Земли	$\mu = 0{,}012\ 300\ 02$
Скорость света	$c = 299\ 792{,}458 \cdot 10^3$ м/с
Общая прецессия в долготе за юлианское столетие (для эпохи 2000 г.)	$p = 5029'',0966$
Наклон эклиптики к экватору (2000 г.)	$\varepsilon = 23°\ 26'\ 21'',448$
Постоянная нутации (2000 г.)	$N = 9'',2109$
Динамический коэффициент сплюснутости Земли («форм-фактор»)	$J_2 = 0{,}001\ 082\ 63$

Световое время для а. е.	$\tau_A = A/c = 499^s,004\ 782 = 8^m,316\ 746 = 0^h,138\ 61244 = 0^d,005\ 770\ 0 = \sim 500$ с

Производные постоянные

Единичное расстояние	$c\tau_A = 1$ а. е. $= 1,495\ 978\ 70 \cdot 10^{11}$ м
Параллакс Солнца	$\pi_{\odot} = 8'',794\ 148 \approx 8'',794$
Постоянная аберрации для эпохи 2000 г	$\varkappa = 20'',495\ 52$
Отношение масс Солнца и Земли	$S/E = 332\ 946,0$
Отношение массы Солнца к массе системы Земля и Луна	$S/E\ (1 + \mu) = 328\ 900,5$
Среднее расстояние Луны от Земли	$a_{☾} = 384\ 400 \cdot 10^3$ м
Параллакс Луны (средний)	$3422'',60 = 57'\ 2'',60$
Постоянная лунного неравенства	$L = 6'',440$
Постоянная параллактического неравенства Луны	$P_{☾} = 124'',986$
Сплюснутость земного эллипсоида	$\alpha = \frac{1}{298,257} = 0,003\ 352\ 81$
Масса Солнца	$\mathfrak{M}_{\odot} = 1,9891 \cdot 10^{30}$ кг

Б. Другие астрономические величины либо «постоянные» меняются со временем («постоянные» фиксируют значение величины для определенной эпохи).

Общая годичная прецессия по прямому восхождению $m = 46'',085\ 1 + 0'',000\ 279\ (t - 1900)$ или $m = 3^s,072\ 34 + 0^s,000\ 018\ 6\ (t - 1900)$

Общая годичная прецессия по склонению $n = 20'',046\ 8 - 0'',000\ 085\ (t - 1900)$

Средний наклон экватора к эклиптике $\varepsilon = 23°\ 27'\ 8'',26 - 0'',468\ 4\ (t - 1900)$

Продолжительность юлианского года 365,25 ср. суток $= 8766^h = 52\ 960^m = 31\ 557\ 600^s$

Продолжительность среднего календарного года (григорианский стиль) 365,2425 ср. солн. суток $= 365^d 5^h 49^m 12^s$

Продолжительность тропического года $365,242\ 198\ 79 - 0,000\ 000\ 061\ 4\ (t - 1900)$ *) $= [365^d 5^h 48^m 46^s = 8765^h,813 = 525\ 948^m,77] = 31\ 556\ 926^s,34 - 0^s,005\ 3\ (t - 1900)$

Продолжительность звездного года $365,256\ 360\ 42 + 0,000\ 000\ 001\ 1\ (t - 1900) = 365^d 6^h 9^m 10^s$

Продолжительность аномалистического года $365,259\ 641\ 24 + 0,000\ 000\ 030\ 4\ (t - 1900)$

Продолжительность драконического года $346,620\ 031 + 0,000\ 000\ 12\ (t - 1900)$

Продолжительность лунного года в 12 синодических месяцев 354,36 ср. солн. суток

Продолжительность тропического месяца 27,321 582 ср. суток $= 27^d 7^h 43^m 4^s$

Продолжительность аномалистического месяца 27,554 550 ср. суток $= 27^d 13^h 18^m 33^s$

Продолжительность драконического месяца 27,212 220 ср. суток $= 27^d 5^h 5^m 36^s$

Средняя продолжительность календарного месяца (1/12 ср. солн. года) $30^d 10^h 29^m 4^s$

Средние солнечные сутки $= 1,002\ 737\ 909$ звездных суток $= 24^h 3^m 56^s,555\ 4$ зв. времени

Звездные сутки $= 0,997\ 269\ 566$ ср. солн. суток $= 23^h 56^m 04^s,0905$ ср. солн. времени

Среднее суточное видимое движение Солнца $0°,985\ 607\ 668\ 6 = 59',136\ 460 = 3548'',187\ 61$

Сутки $= 24^h = 1440^m = 86\ 400^s$

*) Уменьшается на $0^s,53$ в сто лет.

Таблица 4а

Данные о Земле

Экваториальный радиус $a = 6378,140$ км
Полярный радиус $b = 6356,755$ км
Средний радиус 6371,004 км
Радиус-вектор на уровне моря на широте φ $r = a$ $(0,998\,324\,07 + 0,001\,676\,44 \cos 2\varphi - 0,000\,003\,52 \cos 4\varphi + \ldots)$

Сплюснутость земного эллипсоида $\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,257}$

Эксцентриситет земного меридиана $e = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}} = 0,081\,820$

Поверхность Земли 509 494 365 км^2
Поверхность суши = 29,2% всей поверхности Земли *)
Водная поверхность = 70,8% всей поверхности Земли
Объем Земли $1,083\,209 \cdot 10^{12}$ км^3 $\approx 1,1 \cdot 10^{27}$ см^3
Масса Земли $5,973 \cdot 10^{27}$ г **) = 1 : (332 946 ± 20) массы Солнца ≈ трем миллионным массы ☉
Средняя плотность Земли 5,574 г/см^3
Средняя плотность земной коры 2,80 г/см^3
Критическая скорость (скорость освобождения) у поверхности 11,2 км·с$^{-1}$
Длина 1° географической долготы $(111,321 \cos\varphi - 0,094 \cos 3\varphi)$ км
Длина 1° географической широты $(111,143 - 0,562 \cos 2\varphi)$ км
Разность астрономической φ и геоцентрической φ' широт (в системе МАС)

$$\varphi - \varphi' = 692'',74 \sin 2\varphi - 1'',163 \sin 4\varphi + 0'',003 \sin 6\varphi$$

Угловая скорость вращения Земли 15″,041 с$^{-1}$ = 0,000 072 921 с$^{-1}$
Линейная скорость точки экватора 465,119 м·/с$^{-1}$
Линейная скорость точки земной поверхности на широте φ равна $465,119 \cos\varphi$ м·с$^{-1}$
Средняя скорость движения Земли по орбите 29,765 км·с$^{-1}$ ≈ 100 000 км·ч$^{-1}$
Наибольшая скорость (в перигелии) 30,287 км·с$^{-1}$
Наименьшая скорость (в афелии) 29,291 км·с$^{-1}$
Ускорение Земли к Солнцу 0,59 см/с^2
Ускорение силы тяжести на Земле (стандартное) $g_0 = 980,665$ см·с$^{-2}$
То же на широте 45° (абсолютное) $g_{45°} = 980,616$ см·с$^{-2}$
Ночное излучение Земли (в ясную ночь) 70—140 Дж·м$^{-2}$·с$^{-1}$

---

*) Около 0,1 суши покрыто вечными снегами и льдом.
**) Около 0,024% массы Земли составляет вода во всех ее формах; масса атмосферы Земли $(5,158 \pm 0,001) \cdot 10^{21}$ г (АЦ № 593, 1970).

Таблица 4б

Данные о Солнце

Параллакс Солнца при среднем расстоянии Земли от Солнца $\pi_{\odot} = 8'',794\,097\,6 \pm 0'',000\,014\,7$ (по радарным измерениям). МАС в 1964 г. принял значение 8″,794
Параллакс Солнца меняется в пределах от 8″,944 до 8″,649
Среднее расстояние до Солнца = 23 455,04 экваториального радиуса Земли = (149 597 870 ± 2000) км = 1 а. е. = 107,6 $D_{\odot}$ = $4,85 \cdot 10^{-6}$ пс
Диаметр Солнца $D_{\odot}$ = 1 392 000 км = 109,12 $D_{♁}$ ≈ $14 \cdot 10^{10}$ см
Поверхность Солнца в 11 930 раз больше поверхности Земли = $6087 \cdot 10^{22}$ см^2 = $608,7 \times 10^{10}$ км^2
Объем Солнца $V_{\odot}$ = 1 303 800 $V_{♁}$ = $1,412 \cdot 10^{33}$ см^3 = $1,4 \cdot 10^{18}$ км^3

Наибольший видимый угловой диаметр Солнца 32′ 35″,78 (Земля в перигелии) = = 1955″,78

Наименьший видимый угловой диаметр Солнца 31′ 31″,34 (Земля в афелии) = 1891″,34

Видимый угловой диаметр на расстоянии 1 а. е. (средний угловой диаметр) 1919″,26 = = 31′ 59″,26 *)

Сплющенность (разность угловых диаметров вдоль экватора и в направлении на полюса) = 0″,1

Масса Солнца $\mathfrak{M}_{\odot}$ = (1 989,1 ± 0,002)·10^{30} г = 332 946$\mathfrak{M}_{♁}$ = 328 900,5 ($\mathfrak{M}_{♁} + \mathfrak{M}_{☾}$)

Средняя плотность $\rho_{\odot}$ = 1,408 г·см$^{-3}$ = 0,255 $\rho_{♁}$

Плотность в центре Солнца ~98 г·см$^{-3}$

Ускорение силы тяжести на поверхности Солнца $g_{\odot}$ = 2,738·10^4 см·с$^{-2}$, в 27,9 раза больше, чем на поверхности Земли

Критическая скорость (скорость освобождения) на поверхности Солнца 617,7 км/с

Линейная скорость точки солнечного экватора 2,025 км/с

Синодический период вращения точки экватора 27,275 суток (13°,199 в сутки)

Сидерический период вращения точки экватора 25,380 суток (14°,184 в сутки)

Наклон экватора Солнца к эклиптике 7° 15′ 00″

Долгота восходящего узла солнечного экватора 75° 04′ (1950,0)

Северный конец оси вращения Солнца пересекает небесную сферу в точке с координатами $\alpha = 19^h4^m$, $\delta = +64°$ (между Полярной и Вегой)

Среднее значение *солнечной постоянной* **) на высоте 65 км 0,1388 Дж·с$^{-1}$·см$^{-2}$

Мощность солнечного излучения на высоте 65 км (практически на границе земной атмосферы) соответствует 1,388 кВт·м$^{-2}$ = 0,1388 Дж·см$^{-2}$·с$^{-1}$

Светимость Солнца, принимаемая за единицу, или общая радиация, излучаемая Солнцем (3,88 ± 0,03)·10^{26} Дж·с$^{-1}$ = 1,19·10^{34} Дж·год$^{-1}$ ***)

Излучение одного см^2 поверхности Солнца 6,41·10^3 Дж·с$^{-1}$ ≈ 50 000 кандел

Мощность общего излучения Солнца = 374·10^{21} кВт

Сила света Солнца 302·10^{25} кандел

Средняя яркость поверхности солнечного диска (на границе земной и атмосферы) 202 000 стильбов (сб)

Освещенность от Солнца (вне атмосферы) 137 000 люкс (лк) = 548 000 полных лун в зените

Видимая звездная величина Солнца в системе *V*; вне атмосферы $-26^m,78$, в зените $-26^m,58$

Видимая звездная величина Солнца в системе *B*: $-26^m,27 \pm 0^m,02$,
в системе *U*: $-26^m,23 \pm 0^m,04$

Видимая фотографическая звездная величина Солнца $-26^m,17$

Видимая болометрическая звездная величина Солнца $-26^m,85$

Показатель цвета Солнца $B - V = +0^m,63$

Спектральный класс Солнца G2 V

Эффективная температура поверхности Солнца 5807 К ± 29 К

Модуль расстояния Солнца $m - M = -31^m,57$

Абсолютная фотовизуальная звездная величина $+4^m,96$

Абсолютная фотографическая звездная величина $+5^m,59$

Абсолютная болометрическая звездная величина $+4^m,72$

Скорость движения Солнца относительно окружающих его звезд до 6^m 19,5 км/с (по направлению к созвездию Геркулеса) = 4,2 а. е. в год (1,21 $D_{\odot}$ в сутки) = 6·10^8 км/год

Апекс движения Солнца $\alpha = 270° = 18^h0^m$, $\delta = +30°$ (стандартный апекс)

Расстояние Солнца от центра Галактики ~10 000 пс ~30 000 световых лет

*) Из наблюдений диаметр Солнца на среднем расстоянии Земли от Солнца получается 32′2″,36 вследствие явления *иррадиации*. Одна секунда дуги (1″) на поверхности Солнца соответствует 725,3 км, одна минута (1′) — 43 518 км.

**) Колеблется не более чем на 1,5% в течение длительных периодов времени и на ±0,4% с короткими периодами. В 1968 г. на высоте 82 км 1369,084 Дж·м$^{-2}$·с$^{-1}$.

***) В целом около 2·10^{-7} Дж на каждый грамм массы Солнца.

Расстояние Солнца от галактической плоскости 15 пс к северу
Скорость движения Солнца вокруг центра Галактики ~250 км/с
Период обращения Солнца вокруг центра Галактики ~200 млн. лет
Средняя продолжительность полного цикла солнечной активности (22,11 ± 0,6) года

Таблица 4в

Данные о Луне

Средний суточный параллакс Луны 57′ 2″,60 = ~1° (параллакс меняется в среднем от 53′ 54″,6 до 61′ 31″,4)
Среднее расстояние Луны от Земли 384 401 ± 1 км = 0,002 57 а. е. = 60,2682 радиуса Земли (расстояние меняется от 356 400 до 406 700 км)
Наибольший видимый угловой диаметр Луны 33′ 32″
Наименьший видимый угловой диаметр Луны 29′ 20″
Видимый угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли 31′ 5″,16 = ~1865″,2
Диаметр Луны 3476 км = 0,2725 экв. диаметра Земли ≈ $^3/_{11}$ земного
Объем Луны 2199,1·10^7 км^3 = 2,2·10^{25} см^3 = 0,020 266 объема Земли ≈ $^1/_{50}$ земного
Поверхность Луны 3,791·10^7 км^2 = 0,0743 земной = $^1/_{14}$ земной
Масса Луны 1/81,301 массы Земли = 0,123 00 массы Земли = 1/27 070 500 массы Солнца = 7,35·10^{25} г ~73 триллиона тонн
Средняя плотность Луны 3,341 г·см$^{-3}$ = 0,607 средней плотности Земли
Ускорение силы тяжести на поверхности Луны 1,622 м·с$^{-2}$ = 0,165 земного ≈1/6 земного
Критическая скорость (скорость освобождения) 2,38 км/с
Средний эксцентриситет лунной орбиты 0,054 90 = 1/18; линейный эксцентриситет 21 000 км
Наклон лунной орбиты к эклиптике 5° 8′ 43″,4 (меняется с P = 173^d от 4° 59′ до 5° 19′)
Средний наклон лунного экватора к орбите 6° 40′,7 (наклон меняется от 6° 51′ до 6° 31′)
Наклон лунного экватора к эклиптике 1° 32′ 47″ ± 24″
Наклон лунной орбиты к земному экватору меняется от 18° 18′ до 28° 36′
Либрация по долготе ±7° 54′
Либрация по широте ± 6° 50′
Параллактическая либрация около 1°
Невидимая с Земли часть поверхности Луны составляет 0,410 всей поверхности Луны (в первый раз сфотографирована первой советской автоматической межпланетной станцией в октябре 1959 г.); 0,180 всей поверхности то видимы, то невидимы
Средняя видимая угловая скорость движения Луны 12°,15 в сутки, около 0°,53 в час ≈ ≈ поперечник лунного диска в час
Средняя скорость движения Луны по орбите 1,023 км/с ≈ 3681 км/ч
Ускорение Луны в ее движении вокруг Земли 0,272 см/с^2
Сидерический месяц, равный периоду вращения Луны, $27^d7^h43^m11^s$,47 = 27^d,321 661 ср. суток ≈ 655^h43^m
Синодический месяц $29^d12^h44^m2^s$,78 = 29^d,530 588 2 ср. суток ≈ 708^h41^m (меняется от 29^d,25 до 29^d,83, т. е. ~ на 13^h, вследствие эллиптичности лунной орбиты)
Период вращения линии узлов 6798^d ≈ 18,61 тропич. лет
Период вращения линии апсид 3232^d ≈ 8,85 тропич. лет
Сферическое альбедо Луны 0,05 — 0,18
Видимая визуальная звездная величина в полнолунии $m_V = -12^m,71 \pm 0^m,06$ (полная Луна светит в 465 000 (±10%) раз слабее Солнца)
Показатель цвета Луны $B - V = +1^m,2$
Средняя яркость полной Луны 0,251 сб
Освещенность, создаваемая полной Луной в зените на Земле на поверхности, перпендикулярной к направлению падающих лучей 0,25 люкса
«Лунная постоянная» — поток от Луны на Землю — 1/54 000 Дж
Температура в подсолнечной точке +130 °С
Температура ночной стороны поверхности Луны — 150÷160 °С

Элементы орбит планет

Планета	Большая полуось орбиты		Сидерический период обращения		Средняя скорость орбит. движения, км/с	Средний синодический период в сутках	Средняя угловая скорость орбит. движения (в ср. сутки)
	в а. е.	в млн. км	в тропич. годах	в годах и сред. сутках			
Меркурий	0,38710	57,91	0,24085	$87^d,970$	47,87	115,88	4°,0923
Венера	0,72333	108,21	0,61521	224,701	35,02	583,92	1,6021
Земля	1,00000	149,60	1,00004	$1^a 0,006$	29,79	—	0,9856
Марс	1,52369	227,94	1,880089	1 321,730	24,13	779,94	0,5240
Юпитер	5,20280	778,34	11,86223	11 314,84	13,06	398,88	0,0831
Сатурн	9,53884	1427,0	29,45772	29 166,98	9,65	378,09	0,0335
Уран	19,18185	2869,6	84,01529	84 7,45	6,80	369,66	0,0117
Нептун	30,0580	4496,7	164,78829	164 280,30	5,43	367,48	0,0060
Плутон	39,52	5912	247,6968	247 255,1	4,7	366,72	0,0040

*) Вращение в обратную сторону.
**) Для экваториальной зоны. В высоких широтах P увеличивается до 9^h56^m

Физические характеристики

Планета	Масса (без спутников)			Средний диаметр		Объем ♁ = 1
	$\mathfrak{M}_{\odot}/\mathfrak{M}_{пл}$	♁ = 1	г	км	♁ = 1	
Меркурий	6 023 650±450	0,0553	$3,30\cdot10^{26}$	4 878	0,383	0,056
Венера	408 523	0,8150	$4,87\cdot10^{27}$	12 104	0,950	0,857
Земля	332 900,5±20	1,0000	$5,97\cdot10^{27}$	12 756,3	1,000	1,000
Марс	3 098 710±4000	0,1074	$6,42\cdot10^{26}$	67 658	0,532	0,150
Юпитер	1 047,346±0,01	317,89	$1,90\cdot10^{30}$	142 796	11,19	1401,2
Сатурн	3 498,5±0,05	95,17	$5,68\cdot10^{29}$	120 000	9,41	833
Уран	22869±200	14,6	$8,70\cdot10^{28}$	52 400	4,11	69,4
Нептун	19 314±200	17,2	$1,03\cdot10^{29}$	48 600	3,81	55,31
Плутон	$3\cdot10^{6}$	0,08	$7\cdot10^{26}$	5 000	0,39	0,06

*) Вращение в обратную сторону.
**) Без учета центробежной силы. На Юпитере сила тяжести уменьшается на 9%,

Таблица 5а

Солнечной системы

Сидерический период вращения вокруг оси	Эксцентриситет 1975,0 e	Наклон орбиты 1975,0 i	Долгота восх. узла 1975,0 Ω	Годичное изменение $\Delta\Omega$	Долгота перигелия 1975,0 π	Годичное изменение $\Delta\pi$	Средняя долгота в нач. эпоху 1975,0
$58^d,65$	0,20563	7°,0043	48,035	+0,′71	77°,066	+0′,93	320°,663
243,16 *)	0,00676	3,3944	76,455	+0,54	131,219	+0,84	310,975
$23^h56^m04^s$	0,01672	—	—	—	102,510	+1,03	99,534
24 37 22,6	0,09338	1,8498	49,365	+0,46	335,599	+1,10	249,629
9 50,5 **)	0,04846	1,3045	100,196	+0,61	13,920	+0,97	355,214
10 13,8	0,05563	2,893	113,438	+0,52	92,558	+1,18	104,173
10 49 *)	0,04725	0,7732	73,878	+0,30	170,255	+0,96	205,183
$18^h,2—19^h,9$	0,00859	1,7724	131,505	+0,66	44,406	+0,48	249,915
6,38	0,253	17,14	109,97	+0,72	223,156	+0,84	198,82

у Юпитера и до 10^h38^m у Сатурна.

Таблица 5б

планет Солнечной системы

Средняя плотность		Сплюснутость (динамическая)	Наклон экватора к орбите	Ускорение силы тяжести на поверхности ♁ = 1 **)	Критическая скорость на поверхности, км/с	Температура в подсолнечной точке, °С		Альбедо
г/см³	♁ = 1					твердая поверхность	верхний слой облаков	
5,44	0,986	0,00	<3°	0,38	4,2	+337°	—	0,06
5,24	0,950	1 : 30 000	177,4 *)	0,903	10,3	+400 ÷ +500	−39°	0,76
5,517	1,000	1 : 298,257	23,45	1,000	11,2	+14 (ср. годовая)		0,36
3,94	0,714	1 : 190,5	25,2	0,380	5,0	+30 (макс.) −70 (восход ☉ на экваторе)		0,16
1,330	0,241	1 : 15,4	3,08	2,643	61		−143	0,73
0,706	0,128	1 : 10,4	26,43	1,159	37		−145	0,76
1,71	0,286	1 : 18,7	97,92	0,911	22		−170	0,93
2,30	0,417	1 : 47	28,80	1,21	25		(−210)	0,84
4,5	0,88	?	?	?	4,2		(−220)	0,14

на экваторе Сатурна — на 16%.

Планета	Спутник		Кто и когда открыл		m_V в среднюю оппозицию	Угловое расстояние в среднюю оппозицию	Среднее расстояние от планеты	
							в экв. радиусах планеты	в тыс. км
Земля		Луна	—		$-12^m,5$	—	60,27	384,4
Марс	I	Фобос	А. Холл	1877	+11,6	0′25″	2,76	9,4
	II	Деймос			12,7	1 02	6,90	23,5
Юпитер	V	Амальтея	Барнард	1892	14,1	0 59	2,55	181,4
	I	Ио			5,0	2 18	5,95	421,6
	II	Европа			5,3	3,40	9,47	670,9
	III	Ганимед	Галилей	1610	4,6	5 51	15,1	1 070
	IV	Каллисто			5,6	10 18	26,6	1 880
	XIII	Леда	Коваль	1974	20,0	~61	156	11 110
	VI	Гималия	Перрин	1904	14,8	62 40	161	11 470
	X	Лизистея	Никольсон	1938	18,4	63 36	164	11 710
	VII	Элара	Перрин	1905	16,4	64 13	165	11 740
	XII	*) Ананке	Никольсон	1951	18,9	114 00	291	20 700
	XI	*) Карме		1938	18,0	123 24	314	22 350
	VIII	*) Пасифе	Меллот	1908	17,7	128 35	327	23 300
	IX	*) Синопе	Никольсон	1914	18,3	128 58	333	23 700
Сатурн	I	Мимас	В. Гершель	1789	12,9	0 30	3,09	186
	II	Энцелад			11,8	0 38	3,97	238
	III	Тефия		1684	10,3	0 48	4,91	295
	IV	Диона	Ж. Кассини	1684	10,4	1 01	6,29	377
	V	Рея		1672	9,7	1 25	8,78	527
	VI	Титан	Гюйгенс	1655	8,4	3 17	20,4	1 222
	VII	Гиперион	В. Бонд	1848	14,2	3 59	24,7	1 481
	VIII	Япет	Ж. Кассини	1671	10—12	9 35	59,3	3 560
	IX	Феба *)	В. Пикеринг	1898	16,5	34 41	216	12 930
	X	Янус	О. Дольфюс	1966	14	0 25	2,6	159,5
	XI		Ларсон	1978	14	—	2.5	150,3
		Кольцо	Гюйгенс	1659	—	—	1,50—2,25	90—138
Уран	V	Миранда **)	Койпер	1948	16,5	0 10	5,13	130
	I	Ариэль **)			14,4	0 14	7,54	192
	II	Умбриэль **)	Лассель	1851	15,3	0 20	10,5	267
	III	Титания **)			14,0	0 33	17,2	438
	IV	Оберон **)	В. Гершель	1787	14,2	0 44	23,0	586
	VI	Кольцо (9 колец)	Элиот, Миллис	1977			1,60—1,98	42—52
Нептун	I	Тритон *)	Лассель	1846	13,6	0 17	14,6	354
	II	Нереида	Койпер	1949	18,7	4 24	227	5 510
Плутон		Харон	Кристи	1978	<17,5	~1″	~16	17

*) Движение обратное.
**) Движение обратное, совпадающее с направлением вращения Урана.
[1]) В предположении альбедо = 0,5.
[2]) Приближенные оценки по возмущениям.

планет

Спутник	Сидерический период обращения	Синодический период обращения	Эксцентриситет	Наклон к экватору планеты или к орбите (курсив)	Диаметр в км	Масса в единицах массы планеты
З	$27^d,32166$	$29^d 12^h 44^m 03^s$	0,0549	*18°,2—28°,6*	3474	0,01230
М1	0,31891	7 39 27	0,015	1°,1 [1]	27×21×18	$1,6\cdot10^{-8}$
М2	1,26244	1 6 21 16	0,001	0°,9—2°,7 [1]	15×12×11	$3\cdot10^{-9}$
Ю5	0,489	11 57 28	0,003	0°,4	240	$2\cdot10^{-9}$
Ю1	1,769	1 18 28 36	0,000	0,0	3640	$4,7\cdot10^{-5}$
Ю2	3,551	3 13 17 54	0,000	0,5	3050	$2,6\cdot10^{-5}$
Ю3	7,155	7 03 59 36	0,001	0,2	5270	$7,8\cdot10^{-5}$
Ю4	16,689	16 18 05 07	0,008	0,2	5000	$5,6\cdot10^{-5}$
Ю13	240	239	0,146	*26,7*	10	$1\cdot10^{-13}$
Ю6	250,62	260 00	0,158	*27,6* [1]	170	$8\cdot10^{-10}$
Ю10	260,0	276	0,130	*29,0* [1]	24	$4\cdot10^{-11}$
Ю7	260,1	276,10	0,207	*24,8* [1]	80	$1\cdot10^{-10}$
Ю12	617	546	0,17	*147* [1]	20	$7\cdot10^{-12}$
Ю11	692	599	0,21	*164* [1]	30	$2\cdot10^{-12}$
Ю8	735	635	0,38	*145* [1]	36	$7\cdot10^{-12}$
Ю9	758	626	0,28	*153*	28	$1,5\cdot10^{-12}$
С1	0,94242	22 37 12	0,0201	1,5	~360	$6,6\cdot10^{-8}$
С2	1,37022	1 08 53 22	0,0044	0,0	~500	$1,5\cdot10^{-7}$
С3	1,88780	1 21 18 55	0,0000	1,1	~1040	$1,1\cdot10^{-6}$
С4	2,73692	2 17 42 10	0,0022	0,0	1000	$1,9\cdot10^{-6}$
С5	4,51750	4 12 27 56	0,0010	0,4	1600	$5\cdot10^{-6}$
С6	15,945	15 23 15 25	0,0289	0,3	5800	$2,4\cdot10^{-4}$
С7	21,277	21 07 39 06	0,1042	0,4	220	$8\cdot10^{-8}$
С8	79,330	79 22 04 56	0,0283	*14,7*	1450	$3\cdot10^{-6}$
С9	550,45	536 16	0,1633	150 [1]	~240	$5\cdot10^{-8}$
С10	0,749	—	0,0	0,0	~200	$3\cdot10^{-8}$
С11	0,694	—	—	—	~200	
	$4^h—14^h$	—	—	0,0	—	$6\cdot10^{-8}$
У5	$1^d,4135$	—	0,017	—	300 [1]	$\sim1\cdot10^{-6}$
У1	2,52038	2 12 29 40	0,0028	0	800 [1]	$\sim15\cdot10^{-6}$
У2	4,14418	4 03 28 35	0,0035	0	550 [1]	$\sim6\cdot10^{-6}$
У3	8,70588	8 17 00 00	0,0024	0	1000 [1]	$\sim50\cdot10^{-6}$
У4	13,46326	13 11 15 36	0,0007	0	900 [1]	$\sim29\cdot10^{-6}$
У6		—	—	0	—	—
Н1	5,87683	5 21 03 27	0,00	*159,9*	4400	$\sim8,3\cdot10^{-3}$
Н2	365,2	—	0,75	*27,7* [1]	300 [2]	$2\cdot10^{-7}$
П	6,3467	—	~0	~0	1000	0,063

Периодические кометы, возвращение

(исключены те, которые не обнаружены во время последних пяти возвра

№ п/п	Название	Год открытия	N	Момент последнего прохождения перигелия	P, период (годы)	e, эксцентриситет	q, перигелийн. расст.
1	Энке	1786	52	1980 дек. 6,57	3,30	0,847	0,340
2	Григга—Шьеллерупа	1902	13	1977 апр. 11,00	5,10	0,664	0,993
3	Темпеля 2	1873	16	1978 фев. 20,73	5,27	0,548	1,369
4	Хонда—Мркоса — Пайдушаковой	1948	6	1980 апр. 11,10	5,28	0,809	0,581
5	Кларка	1973	2	1978 нояб. 26,33	5,51	0,501	1,557
6	Темпеля 1	1867	6	1978 янв. 11,02	5,49	0,519	1,497
7	Виртанена	1947	5	1974 июль 5,67	5,87	0,614	1,256
8	Веста—Когоутека—Икемуры	1974	2	1981 апр. 12,15	6,12	0,581	1,401
9	Д'Арре	1851	13	1976 авг. 12,87	6,23	0,656	1,164
10	Когоутека	1975	2	1981 апр. 17,67	6,24	0,537	1,571
11	Форбса	1929	6	1980 сент. 24,99	6,27	0,565	1,479
12	Де Вико—Свифта	1678	3	1965 апр. 23,24	6,30	0,524	1,624
13	Дю Туа—Неуймина—Дельпорта	1941	2	1970 окт. 8,16	6,31	0,509	1,677
14	Понса—Виннеке	1819	18	1976 нояб. 28,74	6,36	0,635	1,254
15	Копфа	1906	11	1977 март 7,98	6,42	0,545	1,572
16	Швассмана—Вахмана 2	1929	9	1981 март 17,07	6,50	0,387	2,135
17	Джакобини—Циннера	1900	10	1979 фев. 12,92	6,53	0,715	0,996
18	Вольфа—Харрингтона	1924	6	1978 март 15,90	6,53	0,538	1,614
19	Чурюмова—Герасименко	1969	2	1976 апр. 7,25	6,59	0,630	1,298
20	Цзыцзиньшань 1	1965	3	1978 май 7,45	6,65	0,576	1,499
21	Перрайна—Мркоса	1896	5	1968 нояб. 1,54	6,70	0,642	1,272
22	Рейнмута 2	1947	6	1981 янв. 29,96	6,74	0,455	1,946
23	Джонсона	1949	5	1977 янв. 8 46	6,76	0,386	2,195
24	Борелли	1905	10	1981 фев. 19,99	6,77	0,631	1,319
25	Гунна	1969	2	1976 фев. 10,83	6,80	0,319	2,444
26	Цзыцзиньшань 2	1965	3	1978 сент. 21,00	6,83	0,504	1,785
27	Аренда—Риго	1950	5	1978 фев. 2,49	6,84	0,600	1,442
28	Харрингтона	1953	3	1980 дек. 24,03	6,86	0,556	1,604
29	Брукса 2	1889	12	1980 дек. 27,00	6,90	0,490	1,850
30	Швассмана—Вахмана 3	1930	2	1979 сент. 2,43	6,91	0,737	0,956
31	Финлея	1886	9	1974 июль 3,95	6,95	0,699	1,096
32	Тейлора	1916	2	1977 янв. 11,42	6,98	0,466	1,951
33	Холмса	1892	6	1979 фев. 22,06	7,06	0,413	2,160
34	Даниеля	1909	6	1978 июль 9,09	7,09	0,550	1,663
35	Шайн—Шалдака	1949	3	1979 янв. 9,02	7,26	0,407	2,223
36	Фая	1843	17	1977 фев. 27,83	7,40	0,576	1,610

которых к Солнцу наблюдалось

щений к Солнцу; элементы ω, Ω и *i* приведены к равноденствию 1950,0)

$a = q/(1-e)$, большая полуось	ω, долгота перигелия	Ω, долгота узла	*i*, наклон	T_9, эпоха элементов	Вычислитель, источник
2,22	185°,98	334°,20	11°,95	1980	Бохан, КЦ 264
2,96	359,32	212,64	21,10	1977	Марсден, ККО
3,03	190,94	119,24	12,47	1978	Марсден, ККО
3,03	184,63	232,93	13,12	1980	Беляев
3,12	209,04	59,08	9,50	1978	Марсден, ККО
3,11	179,08	68,34	10,54	1978	Марсден, ККО
3,25	351,83	83,54	12,27	1974	Марсден, ККО
3,35	358,13	84,61	30,07	1981	Беляев
3,38	178,93	141,35	16,69	1976	Марсден, ККО
3,39	169,92	273,12	5,42	1981	Мильборн, ВНАА
3,40	262,55	23,01	4,66	1980	Беляев, КЦ 258
3,41	325,35	24,42	3,61	1965	Марсден, ККО
3,42	115,69	187,89	2,86	1970	Марсден, ККО
3,44	172,36	92,74	22,29	1976	Марсден, ККО
3,46	162,91	120,33	4,72	1977	Марсден, ККО
3,48	357,47	125,94	3,73	1981	Беляев
3,49	171,97	195,07	31,70	1979	Йоманс, ВНАА
3,49	186,98	254,21	18,46	1978	Марсден, ККО
3,51	11,31	50,38	7,12	1976	Беляев, ККО
3,54	22,78	96,20	10,50	1978	ОПГ, ККО
3,55	166,06	240,16	17,76	1968	Марсден, ККО
3,57	45,41	296,05	6,97	1980	Беляев
3,57	206,21	117,80	13,91	1970	Марсден, ККО
3,57	352,77	77,06	30,20	1981	Беляев, КЦ 265
3,59	197,48	67,98	10,39	1976	Марсден, ККО
3,60	203,18	287,64	6,71	1978	ОПГ, ККО
3,60	328,99	121,52	17,86	1978	Марсден, ККО
3,61	233,04	118,95	8,65	1980	Ситарский, АА
3,62	198,23	176,23	5,55	1980	Евдокимов, КЦ 256
3,63	198,04	68,09	11,57	1979	Шапорев КЦ 244
3,64	322,13	41,78	3,64	1974	Йоманс, ККО
3,65	355,57	108,21	20,55	1977	Беляев, Емельяненко, КЦ 205
3,68	23,60	327,38	19,20	1979	Марсден, IC 3187
3,69	10,90	68,48	20,13	1978	Беляев
3,75	215,30	167,20	6,18	1979	Марсден, ККО
3,80	203,66	199,08	9,09	1977	Марсден—Секанина, ККО

№ п/п	Название	Год открытия	N	Момент последнего прохождения перигелия	P, период (годы)	e, эксцентриситет	q, перигелийн. расст.
37	Ашбрука—Джексона	1948	5	1978 авг. 19,88	7,43	0,400	2,284
38	Уиппла	1933	7	1978 март 27,54	7,44	0,352	2,469
39	Харрингтона—Эйбелла	1954	4	1976 апр. 21,84	7,59	0,540	1,776
40	Рейнмута 1	1928	6	1980 окт. 9,46	7,59	0,487	1,982
41	Кодзимы	1970	2	1978 май 24,83	7,85	0,393	2,399
42	Отерма	1942	3	1958 июнь 10,50	7,88	0,144	3,388
43	Аренда	1951	4	1975 май 24,68	7,99	0,538	1,847
44	Шомаса	1911	6	1960 апр. 18,06	8,16	0,705	1,196
45	Джексона—Неуймина	1936	3	1978 дек. 25,44	8,36	0,654	1,425
46	Вольфа	1884	12	1976 янв. 25,36	8,42	0,396	2,501
47	Комас Сола	1927	7	1978 сент. 24,27	8,94	0,566	1,870
48	Кирнса—Кви	1963	2	1972 нояб. 28,44	9,00	0,485	2,228
49	Деннинга—Фудзикавы	1881	2	1978 окт. 2,04	9,00	0,820	0,779
50	Свифта—Герелса	1889	2	1972 авг. 31,09	9,23	0,692	1,354
51	Неуймина 3	1929	3	1972 май 16,57	10,6	0,590	1,976
52	Клемолы	1965	2	1976 авг. 10,19	10,9	0,642	1,766
53	Гейла	1927	2	1938 июнь 18,48	11,0	0,761	1,182
54	Вяйсяля 1	1939	4	1971 сент. 12,30	11,3	0,629	1,866
55	Слотера—Бэрнхема	1958	2	1970 апр. 13,17	11,6	0,504	2,543
56	Ван Бисбрука	1954	3	1978 дек. 3,03	12,4	0,552	2,395
57	Вилда 1	1960	2	1973 июль 2,84	13,3	0,647	1,980
58	Тутля	1790	10	1980 дек. 14,72	13,7	0,823	1,015
59	Дю Туа	1944	2	1974 апр. 1,50	15,0	0,787	1,294
60	Швассмана—Вахмана 1	1925	4	1974 фев. 15,32	15,0	0,105	5,558
61	Неуймина 1	1913	4	1966 дек. 9,40	17,9	0,775	1,542
62	Кроммелина	1818	4	1956 окт. 25,21	27,9	0,919	0,743
63	Темпеля—Тутля	1366	4	1965 апр. 30,00	32,7	0,904	0,982
64	Стефана—Отерма	1867	3	1980 дек. 5,22	37,7	0,860	1,574
65	Вестфаля	1852	2	1913 нояб. 26,83	62,0	0,920	1,254
66	Ольберса	1815	3	1956 июнь 19,14	69,0	0,930	1,178
67	Понса—Брукса	1812	3	1954 май 22,88	71,3	0,955	0,774
68	Брорзена—Меткафа	1847	2	1919 окт. 17,36	71,9	0,972	0,484
69	Галлея	—86	27	1910 апр. 20,17	76,1	0,967	0,587
70	Гершеля—Риголе	1788	2	1939 авг. 9,40	154,3	0,974	0,748

Примечания; 1. КЦ — Кометный циркуляр. 2. ККО — Каталог кометных 1979). 3. Источник не указан — элементы вычислены Н. А. Беляевым для этого издания. Йоманс — 1979. 5. ОПГ — Обсерватория Пурпурная Гора (КНР): элементы помещены АЦ — Астрономический циркуляр.

$a = q/(1-e)$, большая полуось	ω, долгота перигелия	Ω, долгота узла	i, наклон	$T_э$, эпоха элементов	Вычислитель, источник
3,81	349,01	2,06	12,52	1978	Казимирчак—Полонская, КЦ 255
3,81	189,97	188,34	10,25	1978	Марсден, ККО
3,86	138,45	336,78	10,17	1976	Марсден, ККО
3,86	9,46	121,11	8,30	1980	Марсден, М. Р. С. 4659
3,95	348,56	154,08	0,89	1978	Марсден, ККО
3,96	354,87	155,11	3,99	1958	Марсден, ККО
4,00	46,92	355,66	19,96	1975	Марсден, ККО
4,05	51,95	86,24	12,02	1960	Марсден, ККО
4,12	196,28	163,13	14,07	1979	Марсден, ККО
4,14	161,14	203,81	27,33	1976	Казимирчак—Полонская, КЦ 263
4,31	42,84	62,43	12,96	1978	Марсден, ККО
4,33	131,25	315,41	8,98	1972	Шапорев, АЦ 53, 1095 (1976)
4,33	334,04	40,97	8,67	1978	Марсден, ККО
4,40	84°,40	314°,23	9°,25	1973	Марсден, ККО
4,82	146,93	150,20	3,89	1972	Марсден, ККО
4,93	148,88	181,57	10,64	1976	Марсден, ККО
4,94	209,13	67,25	11,73	1938	Марсден, ККО
5,03	49,71	134,74	11,48	1971	Мильборн — Ли, ККО
5,13	44,26	346,10	8,16	1970	Ситарский, ККО
5,35	134,25	148,58	6,62	1978	Марсден, ККО
5,61	167,94	358,20	19,89	1973	Марсден, ККО
5,73	206,89	269,88	54,46	1980	Беляев, КЦ 265
6,08	257,21	22,14	18,70	1974	Беляев, Емельяненко, ККО
6,09	14,47	319,64	9,75	1974	Марсден, ККО
6,85	346,81	347,18	15,03	1966	Марсден, ККО
9,17	195,98	250,43	28,88	1956	Марсден, ККО
10,23	172,58	234,44	162,71	1964	Шубарт, ККО
11,24	358,16	78,51	17,98	1980	Белоус, КЦ 247 и Йоманс, IC 3488
15,68	57,11	347,30	40,88	1913	Карр, ККО
16,83	64,64	85,41	44,61	1956	Йоманс, ККО
17,20	199,03	255,19	74,18	1954	Йоманс, ККО
17,29	129,57	311,17	19,21	1919	Марсден—Йоманс, ККО
17,79	111,72	57,85	162,22	1910	Йоманс, ККО
28,77	29,30	355,28	64,20	1939	Марсден, ККО

орбит Б. Дж. Марсдена (Catalogue of Cometary orbits. — 3d ed. — Cambridge (USA) ; SAO, 4. BHAA — The Handbook of the British Astronomical Association; Мильборн — 1980, в ККО. 6. AA — Acta Astronomica, 1973, № 23. 7. М. Р. С. — Minor Planets Circular. 8.

Метеорные радианты

Метеорное вещество в Солнечной системе весьма разнородно: около половины метеорных частиц более крупного размера (дающих яркие метеоры в земной атмосфере) организованы в четкие системы, носящие название *метеорных роев*. Метеорные частицы такого роя движутся по общей орбите и при встрече с Землей образуют наблюдаемый нами *метеорный поток*. Под влиянием притяжения Солнца и планет и других факторов параллельность траекторий метеорных частиц роя нарушается и у наблюдаемого с Земли потока площадь радианта становится все большего и большего размера, достигая сотен и даже тысячи квадратных градусов. Элементы орбит таких метеорных частиц начинают отличаться от элементов орбиты первоначального роя. Так возникает *метеорная ассоциация*. В дальнейшем отдельные частицы продолжают еще больше расходиться, теряют общие свойства и мало-помалу становятся комплексом беспорядочно движущихся метеорных частиц.

В настоящее время для исследования метеоров применяется радиолокация, которой не мешают ни облачность, ни дневной свет. Радиолокации доступны для изучения слабые метеоры, подчас до 12-й звездной радиовеличины. Известно, что чем слабее метеор, тем таких метеоров больше. Оказалось, что среди радиометеоров процент спорадических выше, чем среди более ярких, изучаемых фотографически и визуально. Более старые метеорные потоки вообще почти или вовсе не содержат телескопических, слабых метеоров.

Основной точный материал по изучению метеоров дает фотографический метод. Измерение фотографий, произведенных одновременно из двух пунктов (т. е. базисных), производится строгими астрометрическими методами. Определение скоростей ведется с точностью до нескольких десятых долей процента с помощью вращающегося обтюратора. Поэтому фоторадианты и вычисляемые фотоорбиты оказываются достаточно надежными. Особенно ценные результаты дало за последние годы применение сверхсветосильных камер «супер-Шмидт» (F : 0,66, диаметр объектива 308 мм, фокусное расстояние 200 мм, резкое поле зрения 55° диаметром). Мак-Кроски с сотрудниками Смитсоновского астрономического института в Кембридже (США, Массачусетс) опубликовали более 2500 орбит по наблюдениям на этих камерах.

В результате анализа 3700 фотографических орбит метеорных тел, опубликованных в СССР, США и других странах, А. К. Терентьева (Киевский университет) выявила 359 малых метеорных роев, сравнив их с визуальными радиантами XIX и XX вв. На основании опубликованных ею данных нами была составлена табл. 8б 154-х главнейших малых потоков, наблюдаемых ныне.

Изучение метеоров фотографическим методом совершенно не исключает необходимости продолжать любительские визуальные наблюдения: фотографически определены радианты и орбиты, как мы видели, только 359 метеорных потоков, в то время как визуально их известно значительно больше. Далее, фотографическими наблюдениями почти невозможно найти граничные даты эпохи видимости потока, поскольку фотография метеора — дело случайное, тогда как систематическими визуальными наблюдениями эта задача решается просто. Кроме того, имеются потоки преимущественно слабых метеоров, которые не содержат ярких метеоров и потому недоступны фотографии. Они продолжают оставаться только визуально наблюдаемыми. Правда, радиолокация может их обнаружить, но трудно предполагать у рядового любителя наличие дорогостоящей радиолокационной установки. Работа с фотокамерами также требует известных затрат, а обработка полученных фотографий нуждается в специальной астрономической квалификации и, кроме того, весьма трудоемка.

Таблица 8а содержит основные данные по визуальным наблюдениям как «классических» больших метеорных потоков, так и наиболее известных малых. Она составлена на основе наблюдений, произведенных преимущественно любителями астрономии, бескорыстно преданными науке. Почти все такие наблюдения в XIX в. (около 120 000) были обработаны В. Ф. Деннингом. Он составил «Общий каталог 4367 метеорных радиантов» и издал его в 1899 г. Английское астрономическое общество присудило ему за этот гигантский труд золотую медаль.

В этом каталоге впервые было установлено существование ряда так называемых малых потоков.

В зависимости от того, как расположена орбита роя, последний эволюционирует с разной скоростью. Например, Андромедиды и рой кометы Понса — Виннеке возникли, дали замечательные метеорные дожди и иссякли на глазах у одного поколения астрономов, тогда как, например, Лириды, орбита которых проходит далеко от возмущающих планет, активны уже более 2500 лет и сохранятся по меньшей мере еще столько же времени. Но поскольку большинство метеорных роев — короткопериодические, средний «период полураспада» их составляет меньше 200 лет. Это значит, что каждый из метеорных роев должен быть под непрерывным наблюдением, поскольку граничные даты эпохи видимости, дата максимальной активности, значение этой активности (т. е. часовые числа n_h) иногда изменяются в очень широких пределах. Поэтому ныне известные малые метеорные потоки могут перестать быть видимыми, зато на смену им появляются новые потоки, дотоле не известные. Примером сказанного могут служить Фенициды и Урса-Минориды в табл. 8а. Иногда слабый поток делается необыкновенно активным, как, например, α-Лириды (R : 279°, +38°), внезапно увеличивший часовое число в десятки раз, что отмечено группой астрономов-любителей в Симферополе (В. В. Мартыненко) 12—16 июля 1958 г.

В большинстве случаев эпоха активности потока длится несколько суток, в отдельных случаях (Персеиды, Дельта-Аквариды, Сев. и Южн. Тауриды, Геминиды и др.) несколько недель. За это время положение видимого радианта меняется, так как меняются орбиты встречаемых частиц и условия встречи их с Землей. Поэтому одной из целей визуальных наблюдений может явиться наиболее тщательное определение последовательных положений радианта на каждую ночь (так называемая *эфемерида*). Иногда для получения эфемериды надо затратить несколько лет. Для некоторых слабых малых потоков можно получить значение суточного смещения Δ радианта. Обычно оно направлено к востоку и потому положительно, но в некоторых случаях $\Delta = 0°$ или даже отрицательно, что следует особо отмечать. Как правило, радианты быстрых метеоров, например, Леонид, почти «точечные», их площадь менее 1 кв. градуса. Наоборот, радианты медленных, в особенности близэклиптикальных потоков (например, Виргинид) очень разбросаны на площади в сотни кв. градусов. Площади радиации метеорных ассоциаций рассеяны на тысячу и более кв. градусов. Циклиды, движущиеся по орбитам, почти совпадающим с орбитой Земли, и имеющие ту же орбитальную скорость, имеют площадь радиации всего неба (около 43 тыс. кв. град) и период активности, равный целому году.

Метеорные тела, имеющие короткий период обращения P (от полугода до нескольких лет) и почти лежащие в плоскости эклиптики, в совокупности образуют общую «связку» орбит. Движение метеорных тел в этой связке прямое. В своем орбитальном движении в течение года Земля почти непрерывно пересекает эти орбиты и поэтому в области эклиптики постоянно действуют слабые, но многочисленные радианты, обычно сильно «размытые». Они последовательно проектируются на все зодиакальные созвездия и дают Ариэтиды, Тауриды, Геминиды, Канкриды, α-Леониды, Виргиниды (несколько потоков), Либриды, Скорпиониды, Сагиттариды, Каприкорниды, Аквариды и Писциды.

Другая группа орбит метеорных тел имеет тоже короткие периоды, но большие углы наклонения i к плоскости эклиптики. Если i больше 90° (например, у Леонид $i = 162°$), то направление движения таких роев является обратным.

Наконец, имеется группа орбит долгого периода (например, Лириды, Орнониды, Леониды). Наклонения i у них, как у долгопериодических комет, разнообразные. Бо́льшую часть своего времени такие рои проводят вдалеке от больших планет и не испытывают гравитационных возмущений и потому составляют как бы основной «метеорный костяк» Солнечной системы. При помощи радиолокации были обнаружены также и другие группы роев, менее мощные, в том числе спорадические рои слабых, телескопических метеоров, наблюдаемых только раз, но в большом числе (тысячи).

Наименьшее число метеоров (до 5 в час на одного наблюдателя) приходится на февраль—март, а наибольшее — в августе, когда в эпоху Персеид на юге СССР визуально регистрируют до 400 метеоров в ночь. Осенью одновременно

действуют 30—40 радиантов слабых потоков. Одни из них восходят, другие заходят, «метеорное небо» живет своей интенсивной жизнью, меняющейся от ночи к ночи. Опытному наблюдателю достаточно двух часов наблюдения, чтобы выяснить, чем сегодня «живет и дышит» метеорное небо.

Содержание табл. 8а таково. В первом столбце дан порядковый номер радианта, во втором и последующих столбцах приведено название потока, даты начала и конца его активности, затем дата максимума и часовое число n_h для этой даты. Далее идут экваториальные координаты (α, δ) видимого радианта, выведенного из многих наблюдений, и затем приближенное значение видимой скорости в атмосфере v км/с. Следующие два столбца указывают год и страну, где имеются первые дошедшие до нас наблюдения этого потока и упоминание, когда и где впервые было научно доказано существование соответствующего метеорного потока. Последний столбец содержит краткие сведения о потоке, о движении соответствующего ему метеорного роя, связи его с кометой, о имевших место в прошлом метеорных дождях и других вспышках активности часового числа n_h этого потока.

Таблица 8б соответственно содержит порядковый номер потока, эпоху активности (по фотографическим наблюдениям с учетом визуальных, если последние имелись), название потока, экваториальные координаты исправленного геоцентрического радианта (среднее равноденствие 1950,0) по фотографическим наблюдениям, данные о часовом числе n_h (по визуальным наблюдениям), значение фотографической скорости вне земной атмосферы v_∞ км/с (т. е. исправленной за сопротивление воздуха). В последнем столбце даны примечания к потоку. D означает поперечник площади радиации, близкой к кругу, R — обозначение радианта, Δ — величина его суточного смещения, ε_g — угловое расстояние исправленного геоцентрического радианта от апекса, т. е. его элонгация, P — период обращения роя вокруг Солнца, i — наклонение орбиты, q, q' — соответственно перигелийное и афелийное расстояния.

Метеорными близнецами называются два метеора одного роя, следующие один за другим по той же орбите с интервалом менее 1000 секунд. Их наличие свидетельствует о их недавнем возникновении. Иногда два разных потока могут давать на сфере совпадающие радианты, тогда говорят об их *оптическом наложении*. Буквы N, S и Q означают северную, южную и эклиптикальную ветви роя. Иногда в одном рое, имеющем большую полуось орбиты a и период P, можно встретить много других метеорных частиц, имеющих значительно меньшие a и P, но тем не менее составляющие тот же рой (например, Персеиды, η (γ)-Аквариды и Ориониды, табл. 8а; №№ 142, 148 и 151 табл. 8б), что характерно для старых роев.

Известно, что наряду с крупными частицами в метеорных роях присутствуют частицы более мелких размеров, порождающие метеоры слабее 6-й зв. величины (телескопические метеоры). Существуют и радианты собственно телескопических метеоров. В СССР изучением радиантов телеметеоров много занимался А. М. Бахарев (Институт астрофизики АН Тадж. ССР, Душанбе). Желающие вести наблюдения телескопических метеоров могут найти список их основных радиантов в Постоянной части АК (6-е изд. — М.: Наука, 1973).

Таблица 8а

Главные метеорные потоки, известные по визуальным наблюдениям до середины XX века

№ п/п	Название потока	Эпоха активности	Дата максимума	Максимальное r_h	Видимый радиант α	δ	Видимая геоцентр. скорость, v, км/с	Когда и где впервые замечен	Год открытия потока	Описание метеоров потока и общие примечания
1	Квадрантиды	27/XII—7/I	3/I	до 35	230°	+55°	35	1835 г., Швейцария	1839	Созвездие «Стенной Квадрант» упразднено, ныне R южнее ϑ—ι Дракона. Период 5,46 г. по Бредихину. Максимумы 1943 и 1948 гг. В России набл. с 1904 г.
2	Авригиды (февр.)	8—12/II	9/II		75	+42	—	ок. 1877 г., Англия	—	Заметный поток
3	Виргиниды (февр.)	13—21/II	—	5	205	—11	29	1869 г., Англия	1899	R очень сильно размыт, до (195° +5°)
4	Гидриды	21—23/II	—	4	132	+6	—	до 1948 г., Южн. Африка	—	Новый поток, открытый Гоффмейстером в экспедиции в Виндкук (Южн. Африка)
5	Боотиды (март)	Март	10/III	5	220	+10	—	—	1899, Англия	Быстрые метеоры. Радиант размыт. Поток известен десятки лет
6	Виргиниды (март)	12—22/III	12/III	4	192	+12	30	1872 г., Англия	1899, Англия	Эклиптикальный поток медленных ярких метеоров и болидов. Резко очерчен. Комета 1834 г.
7	Виргиниды-I	26/III—7/IV	11/IV	6	194	—7	31	1841 г., Европа	1899, Англия	Эклиптикальный поток. Яркие медленные метеоры и болиды
8	α-Виргиниды	Апрель	11/IV	7	210	—10	29	1841 г., Европа	1899, Англия	Резко очерченные желто-оранжевые метеоры, медленные, без следов
9	Геркулиды-I	9—23/IV	12/IV	5	273	+17	60	1877 г., Англия	1899, Англия	Быстрые метеоры. D = 5°. Комета 1864 III?
10	Вульпекулиды	14—23/IV	—	до 5	317°	+30°	60	после 1875 г., Англия	—	Поток быстрых метеоров, связан с №№ 11 и 12. Комета 1911 VI

Продолжение табл. 8а

№ п/п	Название потока	Эпоха активности	Дата максимума	Максимальное n_h	Видимый радиант, α	δ	Видимая геоцентр. скорость, v, км/с	Когда и где впервые замечен	Год открытия потока	Описание метеоров потока и общие примечания
11	Аквилиды	19—23/IV	—	до 5	285	+6	быстр.	1885 г., Англия	—	Хорошо заметный поток. Комета 1844 II
12	Сагиттиды-I	19—23/IV	—	до 6	212	+22	35	до 1900 г., Европа	—	Комета Каролины Гершель 1790 III и, возможно, комета 1853 II
13	Лириды	18—24/IV	21/IV	<10	270	+33	48	687 г. до н. э., Китай	1869, Австрия	Белые метеоры без следов. Дожди 1803 и 1922 гг. (с $n_h \approx 1800$). В обычные годы слаб ($n_h < 7$—8). Комета 1861 I с периодом 415 лет
14	η (γ)-Аквариды	21/IV—12/V	4/V	12	334	—4	66	401 г. н. э., Китай	1848, Германия	Очень быстрые длинные метеоры со следами. Комета Галлея 1910 II
15	Корониды (майск.)	21—31/V	—	6	232	+34	средн.	ок. 1872 г., Англия	—	Мелкие беловатые метеоры
16	γ-Скорпиониды	май—июнь	8—9/VI	7	228	—28	25—30	I тысячелетие до н. э., Эллада	1930, Германия	Яркие медленные желто-оранжевые метеоры. Нужны наблюдения на юге
17	Сагиттариды	июнь—июль	14/VI	8	270	—30	30	XIX в., Европа	—	Медленные желтоватые метеоры, резко очерчены. Нужны наблюдения на юге
18	Боотиды (июньские) (Понс—Виннекиды)	27—30/VI	27/VI	?	212	+58	19	1916 г., Англия	1916, Англия	Крайне медленные красноватые метеоры. В 1916, 1922 гг. обильны, в 1927 г. до $n_h = 300$. После 1933 г. ослабел, дата видимости сместилась. Комета Понса—Виннеке. См. № 90 табл. 8б
19	Цефеиды-I (июньские)	11—21/VI	27/VI	до 7	313	+60	45	1872 г., Англия	1899, Англия	Белые метеоры, быстрые. Яркая комета 1850 г.
20	α-Цигниды	17/VI—31/VII	?	6—7	310°	+45°	средн.	до 1875 г., Англия	1899, Англия	То же, что и ζ-Цигниды и Цигниды авг. 4—18. Беловатые, без следов

21	Корвиды	До и после 27/VI	27/VI	3	192	−19	—	до 1948 г., Южн. Африка	1948, ГДР	Новый поток, ныне ежегодный. Нужны наблюдения. Комета Темпеля—Свифта
22	Каприкорниды	10/VII—20/VIII	15/VII	9	315	−15	30	до 1875 г., Англия	1899, Англия	Обширная площадь радиации. Отмечается ежегодно
23	δ-Аквариды, Сев. / » Юж.	23/VII—22/VIII	28/VII	4 / >12	334 / 338	−5 / −17	40	714 г. н. э., Китай	1871, Европа	Богатейший поток южного неба. Активен еще в XI в. в Китае (Сев. ветвь). Наблюдается днем как радиопоток Ариэтид
24	Кассиопеиды	17/VII—15/VIII	28/VII	до 18	14	+63	60	XI в. н. э., Китай	1869, Европа	Подобны Персеидам и связаны с ними
25	Южные Писциды	18/VII—12/VIII	2/VIII	до 10	345	−30	46	до 1875 г., Европа	1934, Австралия	Хорошо заметный поток ярких медленных метеоров
26	Пегасиды (июльск.)	18—31/VIII	—	до 9	341	+21	ок. 50	1867 г., Англия	XX в., Европа	Яркие и быстрые белые метеоры со следами
27	Персеиды	9/VII—17/VIII	11—12/VIII	>60	45	+57	61	830 г. н. э., Китай	1834, США; 1839, Франция	Поток-гигант. Быстрые белые метеоры со следами. Падение пачками по 6—15 метеоров за 2—3 минуты. В 1921 г. n_h = = 400 (!) Смещение *R*. Комета 1862 III. С 1840 г. набл. ежегодно. Первая метеорная орбита 1838 г.
28	κ-Цигниды	10—25/VIII	ок. 20/VIII	до 11	290	+53	25	до 1875 г., Англия	1938, СССР	Прежнее назв. θ-Цигниды. 17—18/VIII 1955 г. n_h = = 100. См. табл. 86, № 116
29	Цефеиды (авг.)	10—24/VIII	20/VIII	до 8	311°	+62°	быстр.	»	1899, Англия	Богаты в 1892 г.
30	Камелепардиды	10—25/VIII	20/VIII	7	70	+65	70	»	1925, СССР	Быстрые яркие метеоры со следами. Отмечены в 1925 г. на Украине
31	Ауригиды (авг.)	14—31/VIII	30/VIII	до 8	89	+41	69	1872 г., Англия	1930, Германия	Новый поток. Метеоры кометы Киса 1911 II. Быстрые со следами
32	Линксиды (сент.)	14—16/IX	—	до 5	102	+52	58	1867 г., Англия	1899, Англия	Комета 1858 VI Донати. Быстрые, яркие метеоры со следами
33	Писциды (сент.)	1—24/IX	11/IX	до 5	349	+3	27	до 1886 г., Англия	—	Комета 1907 IV Морхауза. Ряд RR. Медленные яркие метеоры
34	Пегасиды (сент.)	2—6/IX	5/IX	9	1	+15	ок. 60	до 1875 г., Англия	—	Много быстрых метеоров от γ Пегаса, яркие со следами

Продолжение табл. 8а

№ п/п	Название потока	Эпоха активности	Дата максимума	Максимальное n_h	Видимый радиант, α	δ	Видимая геоцентр. скорость, v, км/с	Когда и где впервые замечен	Год открытия потока	Описание метеоров потока и общие примечания
35	Дракониды	8—10/X	10/X	?	262	+56	23	1872 г., Англия	1926, Англия	Для 5—12/X 1885 г. известен R (262° +64°) за 15 лет до открытия кометы Джакобини—Циннера. Дожди в 1926, 1933 гг. (n_h = 1000) и в 1946 г. Чрезвычайно медленные красноватые метеоры
36	Писциды (окт.)	7—20/X	10?/X	до 4	22	+18	ок. 20	после 1876 г.	1948, ГДР	Медленные красноватые метеоры; рассеянный радиант
37	Ориониды	14—26/X	22/X	45	94°	+15°	66	1862 г., Греция	1869, США	Вторичная встреча метеоров кометы Галлея 1910 II в нисход. узле ее орбиты. Большой поток белых метеоров со следами
38	Южн. Ариетиды	11—27/X	20?/X	до 11	ок. 32	+20	ок. 20	1928 г., Англия	1940, США	Медленные оранжевые метеоры без следов
39	Цетиды	13—24/X	20/X	до 10	45	+10	оч. медл.	1869 г., Англия?	—	Внезапно 20/X 1935 г. дали вспышку активн. с n_h = 100 (!)
40	Тауриды, Сев.	18/X—30/XI	14?/XI	до 5	56	+22	ок. 26	XI в. н. э., Китай	1869, Европа	Желто-оранжевые медленные метеоры. Сев. Тауриды движутся по орбите кометы Энке (Уиппл). Вторично, возвращаясь от Солнца, встречают Землю, днем в ☋ своей орбиты как радиопоток β-Тауриды
	Тауриды, Юж.	29/X—25/XI	нач. XI	10	55	+14	30	То же		
41	Ариетиды	Ноябрь	12/XI	11	42	+20	29	до 1899 г., Англия	1949, США	Накладываются на RR Северных Таурид
42	Андромедиды	10—27/XI	ок. 12/XI	?	24	+44	оч. медл.	1741 г., Россия	1867, Австрия	Очень медленные красноватые. Дожди 27/XI 1872 г. 1885 г., комета Биэлы.

										В 1898 г. отдельные метеоры. Переоткрыты фот., максимум ныне 12/XI
43	Леониды	8—18/XI	17/XI	5—15	152°	+22°	72	899 г., Египет	1832, Россия; 1833, США	Оч. быстр. метеоры, зеленоватые следы даже у слабых. Имели 33 возвращения к перигелию (отмечены 22 дождями). Дожди 1901 г. (Англия), 1934 г. (Ср. Азия) и 17/XI 1966 г. (n_h = 140 000!, Сов. Арктика; США) весьма кратковременны. Комета Темпеля—Туттля 1965I с периодом P = 33,25г
44	Моноцеротиды	21—22/XI	21/XI	?	110	—5	ок. 35	до 1875 г., Англия	1935, ЧССР	Новый поток белых метеоров без следов. Внезапные максимумы в 1925 и 1935 гг. с n_h = 100
45	Геминиды	25/XI—18/XII	13/XII	до 100	112	+33	ок. 35	1862 г., Европа	1862, Англия	Самый обильный поток северного неба. Белые метеоры без следов. За 22 сут. R смещается на 27°. Элл. орбита в СССР в 1931 г. подтверждена в 1947 г. в США, q = = 0,14, P = 1,5÷2 года
46	Феницииды	5—6/XII	—	?	16	—42	ок. 25	1956 г., Южн. Африка и Австралия	—	Неожиданный метеорный дождь 5—6/XII 1956 г. с n_h = 300, белые метеоры без следов. Комета Бланпэна 1819 VI?
47	α-Дракониды I	9—13/XII	—	4	210°	+72°	ок. 60	до 1875 г., Англия	1899, Англия	Яркая комета Понса 1812 г. Два центра радиации быстрых метеоров
48	Канкриды	2—12/XII	12/XII	до 6	121	+25	ок. 35	до 1877 г., Англия	1899, Англия	Несколько центров RR, оптическое наложение нескольких потоков, включая быстрые со следами из R (132° +31°)
49	Урса-Минориды («Урсиды»)	22—25/XII	22/XII	до 2	233	+83	35—40	1890 г., Англия	1945, ЧССР	Неожиданное появление нового потока 22/XII 1945 г. кометы Туттля 1939 X при $n_h \approx$ 100. Период кометы 13,6 г

Таблица 86

Фотографические радианты малых метеорных потоков

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/с	Примечание
1	1—31/I	1Н-Камелепардиды	51°	+66°	2	17,7	Максимум 24/I, $D \approx 8$, активный
2	3—20/I	60-Орнониды	90	0	—	17,2	За 17 суток R смещается на 18° параллельно эклиптике. $D = 1°$, $\Delta = +1°$
3	1—13/I	α-Орнониды	91	+9	—	20,8	Виз. в XX в., наблюдался недостаточно, 1 $P = 5,35$ года
4	26/XII—14/I	δ-Авригиды	91	+51	—	21,0	Медленные. Болиды. $D \approx 7°$
5	15—26/I	φ-Авригиды	99	+45	—	17,7	Эклиптикальный рой. $D \approx 8°$
6	15?—24/I	α-Геминиды	114	+31	—	21,0	Виз. в XIX в., за 70 лет D увелич. с 2° до 5°, $\Delta = +0°,8$
7	2—14/I	δ-Канис-Майориды	110	−26	?	32,2	2/I 1873 г. загадочный звездный дождь «Сириусид» с $n_h > 1800$. $\Delta = +1°,5$; $P = 43$ года. Максимумы в 1873, 1916 и 1959 гг.
8	8?—21/I	γ-Канкриды	126	+22	—	27,1	Эклиптикальный рой. Виз. с 1867 г. Болиды. D до 5°; $\Delta = 1°,2$. Активный
9	13—19/I	θ-Канкриды	125	+17	—	29,7	Короткопериодический; $i = 55°$
10	3—15/I	31-Моноцеротиды	129	−10	—	43,6	$D \approx 4°$, $\Delta \approx +0°,7$
11	17—23/I	α-Линксиды	136	+31	—	34,7	Максимум 17/I. Связь с яркой кометой 1533 г. ($q = 0,33$; $i = 28°$). Виз. набл. в XIX в.
12	16—21/I	η-Кратериды	117	−19	4	58,1	Быстрые. Максимум 16/I. Радиант размыт ($D = 6°$ виз.)
13	11—25/I	γ-Комиды	187	+20	—	66,8	Известен с 1887 г. Связь с кометой 1913 I. Быстрые. Активны. Оптически налагаются другие RR в ту же эпоху
14	13—20/I	α-Боотиды	211	+25	1—2	62,8	$D = 5°$, $\Delta \approx +0°,8$. Виз. набл. в XIX и XX вв.
15	5—17/II	g-Геминиды	118	+20	—	17,7	Возможны две ветви (N и S), симметричные относительно эклиптики
16	11—27/II	δ-Моноцеротиды	117	0	—	14,4	Известны с 1868 г. $D = 5°$
17	3—6/II	η-Леониды	147	+16	—	30,4	Эклиптикальный рой
18	14—24/II	α-Леониды	149	+13	—	24,4	$D \approx 4°$. Эклиптикальный
19	17—26/II	43-Леониды	156	+6	—	13,3	Крайне медленны, 13 км/с. $D \approx 2°$, $\Delta > 0$. Афелийное расстояние $q' = 1,3$ а. е. (1)
20	4—20/II	37-Лео-Минориды	157	+30	—	29,8	$D = 6°$. Виз. набл. с XIX в.
21	12—17/II	40-Лео-Минориды	158°	+26°	—	27,6	Виз. наблюдался с 1872 г. $D = 2°$
22	11—21/II	σ-Леониды	169	+6	—	40,0	Связь с № 23. $D = 1°$. Малое $q = 0,14$ а. е. Виз. набл. в XIX в.
23	3—20/II	β-Леониды	174	+11	3—5	36,0	Связан с № 22. Болиды. Виз. набл. в XIX и XX в. Малое $q = 0,16$ а. е.
24	3—20/II	14-Комиды	182	+30	—	43,8	$D = 5°$, $\Delta \approx +0°,7$. Яркие метеоры. Сильно вытянутая эллиптич. орбита, $i = 56°$

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α δ		n_h	v_∞, км/с	Примечание
25	21/I—24/II	Корониды	244°	+28°	—	59,2	Один из главнейших малых потоков. Связан (?) с кометой Темпеля 1869 II. $D = 7°$; $\Delta = +0°,8$. Активен в течение месяца
26	13—20/II	α-Серпентиды	235	+6	—	63,7	$D \approx 3°$, $\Delta \approx +0°,8$. Рой имеет обратное движение
27	1—23/III	Урса-Леониды					Две группы (a) и (b) радиантов с $D = 2°$ и 4°, $\Delta \approx$
(a)			166	+23	—	21,6	$\approx +1°,5$
(b)			177	+29	—	21,9	
28	18—19/III	χ-Леониды	168	+7	—	21,7	Эклиптикальный поток. $D \approx 7°$
29	1—18/III	γ-Виргиниды	173	+6	—	27,2	Близок к № 31. Большой $D \approx 8°$, $(\Delta = +1°,0)$
30	12—20/III	β-φ-Леониды					*N* и *S* ветви; их орбиты одна внутри другой, очень
(*N*)			176	+14	—	20,0	короткие периоды, $P =$
(*S*)			168	−2		19,9	$= 2,0$ и 2,6 года соответственно
31	1—21/III	95-Леониды	180	+16	—	26,6	Связан с № 29. Визуально *R* болидов. Максимум 1/III
32	4—20/III	η-Виргиниды	184	+2	—	30,8	$D = 7°$, $\Delta = +1°,1$. Сходен с № 33. Виз. набл. в XIX в.
33	1—6/III	β-Виргиниды	178	0	—	35,2	$D = 6°$. Сходен с № 32
34	1—13/III	α-Каниды	191	+38	—	13,5	Орбита, близкая к круговой, расположена близ орбиты Земли ($a = 1,04$; $e = 0,19$, наименьший $P = 1,06$ г). Напоминают Циклиды. Наблюдались метеорные близнецы
35	10—15/IV	η-Канкриды	126	+20	—	10,6	Почти круговая орбита ($a = 1,18$; $e = 0,15$). Радианты в антиапексе, сильно разбросаны. При элонгации $\varepsilon_g = 163°$ их скорость $v_\infty = 10,6$ км/с, минимально возможная
36	2—15/IV	ζ-Леониды	155	+27	—	15,4	Радианты чрезвычайно разбросаны ($\varepsilon_g = 138°$)
37	7—22/IV	β-Урсиды	156	+56	2	15,0	Виз. набл. в XIX и XX вв. *D* возрос с 1° до 10° (фот.)
38	5—11/IV	ι-Леониды	171	+12	—	15,8	Эклиптикальный, медленные метеоры. $D \approx 13°$
39	5—18/IV	α-Каниды	188	+34	—	15,8	$D = 3°$. Короткий период $P = 2,28$ года. Медленные
40	7—16/IV	ε-Виргиниды	191	+13	—	16,7	$D = 6°—10°$, $P = 2,10$ г. Медленные
41	6—12/IV	17-Виргиниды	186	+8	—	20,4	Нужны наблюдения
42	9—16/IV	χ-Виргиниды	190	−7	—	22,1	$D \approx 5°$, $P = 4,34$ года
43	1—16/IV	β-Комиды	197	+25	—	19,4	Короткий период, $D \approx 3°$. $\Delta = +0°,8$. Виз. *R* набл. в XIX в.
44	2—16/IV	δ-Виргиниды	195	+5	—	14,8	$D = 5°$. Очень медленные метеоры. $P = 1,48$ года! Виз. *R* наблюдался в XIX в.
45	11—15/IV	46-Виргиниды	196	0	—	20,6	Медленные метеоры, $D \approx 5°$
46	7—21/IV	71-Виргиниды	199	+11	—	23,4	*D* до 6°. Виз. *R* наблюдался с XIX века. $P = 5,07$ лет
47	10—16/IV	65-Виргиниды	199	−5	—	23,4	Эклиптикальный рой. $D \approx 2°$, $\Delta = +1°,1$

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α δ	n_h	v_∞, км/с	Примечание
48	2—27/IV	α-Виргиниды	209° —10°	7	32,8	Виз. R набл. в XIX и XX вв. Поток ярких метеоров и болидов. Максимум 11/IV. D до 7°, Δ = +1°,1. P = 5,81 года
49	2—7/IV	86-Виргиниды	208 —14	—	33,4	Разброс в скоростях, тенденция к двум группировкам, D ≈ 8°
50	Апрель	Либриды	209 —10	8	18,4	Медленные метеоры. Длительная эпоха активности. Орбита роя почти совпадает с орбитой Земли. P = 1,04 года
51	13—25/IV	ρ-Боотиды	214 +34	2	25,8	Яркие метеоры. P = 7,38 года. Виз. R наблюдался в XIX и XX вв.
52	6—24/IV	μ-Виргиниды	218 —10	8	44,0	Резко отличен от № 61. Максимум 11/IV, P > > 110 лет
53	9—26/IV	β-Либриды	216 —1	9	30,4	D = 7°—11°. Поток дает болиды. Виз. R наблюдался в XIX и XX вв.
54	1—12/IV	κ-Серпентиды	230 +17	—	46,7	D ⩽ 11°, Δ неизвестно, разброс скоростей, возможны две группы. Наклон орбиты i = 64°. Виз. наблюдался в конце XIX в. Оптически налагаются другие RR
55	9—26/IV	α-Корониды	238 +29	2	40,4	Период 462 года (!), афелий за пределами орбиты Плутона; i = 56°. Рой на поздней стадии развития D = 10°—15°
56	25/III—12/IV	π-Геркулиды	248 +43	4?	40,0	q′ = 13 а. е. (за орбитой Сатурна). P ≈ 28 лет. Виз. наблюдался в XIX и XX вв. В отдельные годы активен до 30/IV
57	28/IV—4/V	19 H-Камелепардиды	74 +79	—	16,1	Медленные. Афелий 2,80 а. е. (в зоне астероидов)
58	3—8/V	Урса-Докониды	219 +64	—	18,8	Разброс радиантов по α
59	26/IV—11/V	α-Виргиниды	199 —11	2—3	18,8	D = 12°. Виз. R наблюдался в XX в.
60	2—9?/V	25-Каниды	205 +34	—	16,2	Короткопериодический. Медленные метеоры. Виз. R наблюдался с 1867 г.
61 (N) (S)	26/IV—12/V	μ-Виргиниды	214 —8 210 —16	—	23,0 21,7	Некогда крупный рой. N и S-ветви. D ⩾ 15°. Много болидов. Эклиптикальный рой короткого периода. Резко отличен от № 52
62	21/IV—12/V	α-Корониды	219 +17	—	22,6	D до 15°. Виз. R наблюдался с конца XIX в. В XX в. n_h = 4 (виз.)
63	23/IV—11/V	β-Урса-Минориды	237 +74	—	13,7	Близэклиптикальный рой, хотя R находится в UMi. Очень медленные метеоры, P = 1,50 года
64 (N) (S)	26/IV—15/V	Либриды	227 —9 219 —24	7	28,4 29,3	Довольно крупный рой. N и S ветви. Очень большой D = 25° (!) (фот.) Возможна связь с № 53
65	5—12/V	11-Либриды	220 +3	—	16,3	D ≈ 8; медл. метеоры. P= = 2,07 года
66	22/IV—12/V	ι-Либриды	227 —18	—	31,2	D ≈ 8°

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	m_h	v_∞, км/с	Примечание
67	21/IV—8/V	χ-Геркулиды	238°	+41°	—	27,9	Сложное поле радиации, два центра? $D \approx 11°$, $\Delta = +1°,0$
68	28/IV—15/V	Серпентиды	230	+16	2—3	32,2	Яркие медленные метеоры. $D \approx 5°$. Максимум 14/V
69	19/IV—15/V	β-Скорпиониды	241	−18	8	35,0	Богатый близэклиптикальный рой. $D = 6°$ (виз.). В XX в. большая пл. радиации, неск. центров, D до 14° (фот.), $\Delta = +1°,2$
70	19/IV—16/V	μ-Дракониды	242	+49	2	16,3	$D < 10°$. Набл. виз. в XX в. Δ неясно. Очень медл. метеоры, $P = 1,35$ года $q' = 1,49$ (орбита Марса)
71	1—19/V	Скорпиониды					Замечательный близэклиптикальный рой. Множество болидов. Обширная площадь радиации ($D \leqslant 18°$, фот.) и протяженная эпоха активности. $q = 0,13$. N и S ветви. $q' = 3,02 \div 4,12$. Максимум 12/V
(N)			249	−17	2	38,4	
(S)			250	−28		38,0	
72	20/IV—9/V	δ-Геркулиды	250	+27	—	35,9	Один из заметных малых роев. Виз. набл. в XIX в. $D \leqslant 7°$. Связь с кометой 1748 II (парабол. орбита)
73	23/IV—12/V	ι-Геркулиды	267	+44	2	38,0	Визуально наблюдался в XX в.
74	30/IV—13/V	δ-Цигниды	301	+45	—	13,5	$D \approx 13°$. Почти круговая орбита внутри орбиты Земли ($a = 0,87$, $q' = 1,02$ а. е., $P = 0,81$ года (!))
75	22/V—8/VI	ε-Урса-Майориды	187	+58	—	16,0	$D = 6—14°$. Очень медл. метеоры
76	19/V—9/VI	ε-Боотиды	224	+28	—	18,6	Длительный поток с большим D. $q' = 5,21$ (на орбите Юпитера)
77	21/V—4/VI	Либра-Центавриды					Сильно возмущенный эклиптикальный рой с большим D, N и S ветви
(a)			228	−4	—	17,7	
(b)			218	−31	—	18,5	
78	1—9/VI	k-Боотиды	231	+44	—	18,1	$D \approx 6°$. Медленные метеоры
79	23—29/V	Либра-Люпиды					Сходство с № 81. N и S ветви. Медленные и красноватые. Элонгация $\varepsilon_g = 105°$
(N)			237	−9	—	21,6	
(S)			227	−41	—	21,0	
80	28/V—2/VI	κ-Корониды	237	+37	—	20,3	Близэклиптикальный короткопериодич. рой, $D \approx 5°$. Наблюдались метеорные близнецы
81	27/V—5/VI	δ-Скорпиониды	239	−21	—	23,1	Сходен с № 79. $P = 5,04$ года, $q' = 5,2$ а. е. Часты болиды. Имеются метеорные близнецы
82	22/V—11/VI	α-Геркулиды	258	+18	—	25,4	Радианты смещаются (не параллельно эклиптике) по большому кругу, проходящему недалеко от положения Солнца на эклиптике
83	1—9/VI	ζ-Офиухиды	250	−7	—	25,5	Заметный визуальный поток 17—26/VI (260° −20°), по-видимому, его продолжение
84	25/V—8/VI	ε-Скорпиониды	252	−31	—	27,4	$D \approx 12°$

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/с	Примечание
85	2—13/VI	β-Офиухиды	256°	−2°	2—3	27,9	*D* до 12°. Виз. *R* наблюдался в XIX и XX вв.
86	25/V—20/VII	Сагиттариды	265	−19	6	30,7	Большой эклиптикальный рой. Активен 57 сут. (I), максимум размыт, *D* ≈ ≈ 20° (I). Возможны *N* и *S* ветви. Связан с № 96
87	21/V—4/VI	ϑ-Офиухиды	263	−28	—	36,6	Ср. с № 83. *R* смещается параллельно эклиптике. Δ = +0°,9
88	22/V—13/VI	ζ-Дракониды	264	+57	3	26,9	Виз. *R* отмечен в 1885 г. Довольно медленные метеоры и болиды. Ср. с № 91
89	22/V—10/VII	μ-Сагиттариды	278	−18	6	43,4	Активен около 50 суток. Сложное поле радиации. Сильно эксцентрическая орбита с очень малым q = 0,10. P = 14,5 года
90	13/VI—2/VII	Боотиды	229	+48	—	18,0	Связан с кометой 1915 III Понса—Виннеке. Наблюдались в 1922, 1927—1928 (n_h ≈ 300), 1930 гг. *RR* сильно рассеялись. В 1944 г. макс. 13/VI при *D* ≈ 20°
91	16—25/VI	ζ-Дракониды	252	+69	—	23,3	Сходство с № 91
92	14—30/VI	μ-Дракониды	250	+53	2—3	26,2	Виз. радиант отмечен в 1869 г. Не изучен. *P* = = 431 год
93	22—30/VI	Офиухо-Скорпиониды	246	−12	—	18,1	Разбросанные *RR*. По-видимому, имеются *N* и *S* ветви (и возможно *Q* ветвь). Медленные метеоры
94 (*N*) (*S*)	16/VI—3/VII	Офиухиды	257 259	−10 −32	— —	21,1 21,0	Большой эклиптикальный рой с *N* и *S* ветвями. Визуальными наблюдениями (1944 г.) подтверждается *N* ветвь. Радианты *S* ветви трудно наблюдаемы в сев. широтах
95	22/VI—6/VII	ξ-Серпентиды	268	−14	—	23,4	Эклиптикальный рой. *D* = 10°
96	12—29/VI	Скутиды	276	−15	—	29,3	Возможно, связан с № 86. Большое поле радиации. *P* = 5,83 года. Сильное влияние Юпитера. Виз. наблюдался в XIX и XX вв.
97	25/VI—3/VII	η-Серпентиды	278	−3	—	25,3	Виз. радиант отмечен в 1872 г. В потоке возможны метеорные близнецы
98	24/VI—6/VII	π-Сагиттариды	289	−24	—	32,0	Малая площадь радиации. Должен вторично встречать Землю в конце декабря с *R* в созвездии Тельца
99	13—28?/VI	ζ-Цигниды	316	−36	—	51,6	Наклонение орбиты i = = 90°. Вторично встречает Землю в середине декабря. *P* = 42,9 года
100	14/VII—15/VIII	Кассиопеиды	13	+53	~10	59,7	Богатый поток ярких метеоров со следами, действует более месяца. *D* значителен, возможны два центра радиации. По фотографическим данным рой неотличим от α-Кассиопеид, известных виз. с 1877 г.

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/с	Примечание
101	19—25/VII	π-Геркулиды	261°	+40°	—	18,4	Медленные метеоры
102	23/VII—2/VIII	13-Лириды	278	+50	3—5	27,3	Поток ярких метеоров. Виз. *R* наблюдался с 1875 г.
103	14?—31/VII	γ-Дельфиниды	310	+19	—	34,5	Виз. *R* отмечен до 1887 г. Медленные метеоры, ряд *RR*
104	10—23/VIII	γ-Андромедиды	13	+40	—	60,4	Быстрые метеоры. Виз. наблюдения с 1877 г. $q' = 9{,}6$, $P = 11{,}4$ года, $i = 118°$
105	17—28/VIII	α-Персеиды	40	+49	—	63,1	Быстрые со следами, типа Персеид. Элементы орбиты близки к орбите кометы 1870 I. Виз. наблюдения в конце XIX в.
106	18—29/VIII	39-Ариэтиды	46	+30	—	71,3	Точечный *R* (виз. и фот.) $D = 0°$, $\Delta = 0°$. Нужны дальнейшие исследования
107	10—31/VIII	ε-Тауриды	59	+18	2	69,2	Эклиптикальный рой с обратным движением, $i = 176°$, $D = 2°$. Виз. наблюдался в XIX и XX вв.
108	12—25/VIII	ε-Персеиды	64	+36	3	69,6	Яркие метеоры со следами. $D = 4°$. Виз. наблюдался в XIX и XX вв.
109	6—11/VIII	κ-Лириды	259	+32	—	17,0	Виз. *R* известен до 1874 г. За 60 лет *D* увелич. с 1° до 14°. Весьма медленные метеоры
110	14—29/VIII	ζ-Дракониды	271	+54	?	24,3	Медленные метеоры. Рой претерпел сильные возмущения, *D* увелич. с 2° до 20° (за 70 лет). Виз. набл. с XIX в.
111	29/VII—21?/VIII	ν-Офиухиды	264	−13	4	14,3	Возможно, единый рой с № 114. $D = 13°$. Чрезвычайно медленные метеоры
112	8—22/VIII	b-Дракониды	272	+61	—	24,2	Сходство орбит с № 110. Большой *D*. Яркие медленные метеоры
113	13—25/VIII	ι-Геркулиды	270	+43	—	24,2	Сходство орбит с № 110. Медленные метеоры. Виз. наблюдался в 1944 г. $P > 147$ лет, $q' > 28$ а. е.
114	5—14/VIII	γ-Скутиды	276	−18	—	15,9	Орбита сходна с № 111. $D \approx 16°$. Крайне медленные метеоры. Виз. *R* наблюдался в 1944 г.
115	4—9/VIII	ε-Лириды	283	+42	—	3,8	Возможно, связан с виз. *R* (292°+42°), 3—13 авг.
116	17—25/VIII	κ-Цигниды	290	+54	—	27,0	Виз. набл. с конца XIX в., хорошо известный поток. Оптическое наложение *R* быстрых метеоров
117	1—16/VIII	η-Аквилиды	296	+4	—	21,6	Виз. набл. около 100 лет. Сходство с орбитой № 118. Медленные метеоры. Возможны метеорные близнецы
118	14—25/VIII	η-Сагиттиды	299	+16	—	22,2	Сходство с орбитой роя № 117. Виз. *R* набл. в XIX в.
119	19/VII—13/VIII	η-Пегасиды	342	+32	—	47,9	Активный поток, $P > 21$ года, $i = 76°$. Виз. *R* наблюдался в XIX в.
120	10—27/IX	β-Персеиды	44	+44	3	60,8	$D = 2°$. Виз. *R* отмечен в XX в. и почти не наблюдался

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/с	Примечание
121	12?—27/IX	π-Орионнды	69°	+8°	4	69,2	Быстрые метеоры со следами. Обратное движение ($i = 155°$, $P > 132$ лет)
122	15/IX—15/X	β-Камелопардиды	67	+45	3—5	69,2	Быстрые метеоры со следами, активен в течение месяца. Максимум активности после 28/IX. Виз. *R* набл. в XIX и XX вв.
123	7—24/IX	о-Орионнды	72	+16	1—2	74,3	Близэклиптикальный рой с обратным движением ($i = 170°$). Чрезвычайно быстрые метеоры со следами
124	14/IX—2/X	ι-Авригиды	78	+36	1—2	68,8	$D \geqslant 7°$. Виз. *R* набл. в конце XIX в. Вблизи и одновременно активен виз. *R* (86°+42°), 18—25 сент.
125	19/IX—2/X	56-Авригиды	99	+45	—	68,3	Очень быстрые метеоры. Виз. *R* набл. в XIX и XX вв. *D* до 7°. Вблизи несколько виз. *RR*. Фотогр. наблюдались метеорные близнецы
126	18?/IX—1/X	ζ-Драконнды	276	+62	—	25,0	$D = 5°$, $\Delta = 0°$. Виз. *R* набл. в 1893—1898 гг.
127	16/IX—5/X	δ-Драконнды	311	+72	3—4	32,0	Виз. наблюдался в конце XIX в.
128	10—25/IX	Аквилиды					Две (a) и (b) группы радиантов на расстоянии 27° (!) на небесной сфере. Очень медленные метеоры
(a)			300	+10	—	15,9	
(b)			302	−17		13,1	
129	11/IX—3/X	Эквулеиды	328	+1	—	15,6	Большая площадь радиации, $D \approx 20°$ (!). (Область антиапекса.)
130	15/IX—1/X	β-Писциды	339	−7	—	19,1	Эклиптикальный рой. Виз. *R* отмечен в конце XIX в. $D = 3°$
131	8?—24/X	ι-Писциды	6	+4	—	20,1	$D = 7°$. Сходство орбиты с №№ 132 и 133. Виз. *R* набл. в конце XIX в.
132	16—24/X	56-Цетиды	26	−23	—	18,6	Связан с № 133. Сходство орбиты с № 131. $D \approx 14°$
133	19—21/X	χ-Цетиды	22	−11	—	18,1	Медленные метеоры. Связан с № 132 и имеет сходство орбит с № 131. Малая площадь радиации. Возможны метеорные близнецы
134	11—26/X	Моноцеротиды	101	−3	4	68,2	Быстрые метеоры. Виз. *R* набл. в XIX в.
135	8—18?/X	σ-Урса-Майориды	130	+67	—	56,7	Виз. *R* отмечен в конце XIX в. $D = 2°$. Сильно вытянутая орбита с $i = 101°$, $P = 54$ года
136	21—31?/X	Лео-Минориды	160	+37	—	63,2	Виз. *R* набл. в XIX в. и по Деннингу это ω-U Mads. Фоторадианты ныне целиком в Leo Minor. $P = 62$ года
137	16—19/X	γ-Урса-Минориды	218	+71	—	39,7	Долгопериодический рой с большим наклонением орбиты ($i = 62°$)
138	6?—12/X	ε-Драконнды	305	+59	—	26,5	Виз. *R* наблюдался в конце XIX в. Оптически накладывается *R* другого потока. Только по наклону (на 34°) отличается от роя № 139

№ п/п	Эпоха активности	Название потока	Радиант, α	δ	n_h	v_∞, км/с	Примечание
139	9—23/X	α-Каприкорниды	316°	—8°	1—2	15,6	Эклиптикальный. Яркие метеоры и болиды. Виз. *R* набл. в XIX в.
140	14—19/X	ι-Кассиопеиды	351	+61	—	33,0	Виз. *R* отмечен в XX в.
141	6—28/XI	ε-Эриданиды	58	—5	1—2	31,5	Виз. радиант до 1940 г. мало заметен. В 1952—1953 гг., возможно, было некоторое усиление активности (фотогр. набл.); $D \leqslant 13°$
142	11—20/XI	ζ-Тауриды					Поток ярких метеоров. Исключительно малое $q = 0{,}07$ а. е. Две (а) и (b) группы радиантов и соответствующих им орбит
(a)			82	+30	4	41,2	
(b)			82	+15		47,3	
143	2—20/XI	Кмино-Авригиды					Поток быстрых метеоров. *N* и *S* ветви. Обратное движение. $q' = 14{,}4$ и 13,6 а. е. $P = 20{,}0$ и 18,0 лет соотв.
(*N*)			106	+44	2	58,8	
(*S*)			106	+10		61,1	
144	12/XI	μ-Пегасиды	340	+22	—	15,1	Медленные, догоняющие Землю метеоры
145	8—17/XII	δ-Ариэтиды					Исключительный рой, имеющий сев. (*N*), южн. (*S*) и эклиптикальную (*Q*) ветви. Для *N* и *S* ветвей $D \approx 25°$ (!), для *Q* ветви $D \approx 3°$
(*N*)			44	+47	—	17,8	
(*Q*)			51	+22	—	17,1	
(*S*)			64	0	—	18,2	
146	25/XI—13/XII	ε-Персеиды	57	+34	4	20,8	Короткопериодический ($P = 5$ лет), эклиптикальный рой. Медленные метеоры
147	4—12/XII	γ-Орионииды	80	+4	—	27,7	Виз. *R* набл. в XX в. Возможно, связан с № 148
148	4—14/XII	ζ-Тауриды	85	+20	5—6	28,0	Большой эклиптикальный рой. Болиды. Виз. *R* набл. в XIX в. *D* возрос до 13°. Возможна связь роев № 147 и 149
149	9—14/XII	ε-Геминиды	90	+27	5	32,4	Возможна связь с № 148. Не является ветвью известного большого потока Геминид
150	12—17/XII	Моноцеротиды	104°	+9°	—	43,6	Виз. известен с 1944 г.
151	2—15/XII	Гидро-Канкриды					*N* и *S* ветви большого роя. *N* ветвь бедна виз. и фотогр. наблюдениями
(*N*)			134	+31	~3	60,7	
(*S*)			127	+2		58,8	
152	13—31/XII	ι-Гидриды	143	—1	—	65,3	Фотографич. *R* смещается параллельно эклиптике. $D = 0°$, $\Delta \approx +1°{,}0$
153	10?—20?/XII	ξ-Урса-Майориды	160	+32	—	61,1	Виз. *R* набл. в конце XIX в. Рой с обратным движением ($i = 134°$)
154	10—13/XII	τ-Кассиопеиды	352	+53	—	17,4	Короткопериодический рой ($P = 5{,}6$ года). Радианты очень разбросаны

Таблица 9

Кометные радианты

В настоящее время известно, что бо́льшая часть метеорных роев возникает при распаде комет. Для тех кометных орбит, которые приближаются к орбите Земли на достаточно малое расстояние, можно вычислить теоретические метеорные радианты. Эти радианты могут подтвердиться наблюдениями, если примерно по той же кометной орбите движутся метеорные тела, явившиеся продуктом распада данной кометы. В таблице приведены такие теоретические метеорные радианты, которые вычислены для кометных орбит, сближающихся с орбитой Земли на расстояние Δ, меньшее 0,05 астрономической единицы. Желательны наблюдения этих радиантов с целью выявления их активности, уточнения координат и граничных дат видимости.

В последнем столбце указана ближайшая к радианту яркая звезда или созвездие.

№	Комета	Δ	Дата	α	δ	Примечание
1	1770 II	0,027	Январь 12	220°	—30°,5	
2	1840 I	0,037	22	129	—27,5	
3	1913 I	0,011	24	187,3	+22,2	Com
4	1718	0,029	Февраль 1	209	—31,5	π Hya
5	1833	0,028	3	139	+22	ε Leo
6	1092	0,012	7	103	—36	
7	1743 I	0,025	8	348	—5	
8	868	0,030	10	185,7	+34,7	C Vn
9	1947 III	0,025	12	236	+12	λ Ser
10	1858 IV	0,045	16	272,5	+11	
11	574	0,02	17	112	—61	
12	1954 X	0,02	Март 22	254	+57	
13	1862 IV	0,012	18	249,5	+1,0	λ Oph
14	1264	0,02	26	182	—28	
15	1907 II	0,002	31	308	—60	
16	1917 II	0,017	Апрель 1	300	—9	
17	1861 I	0,002	21	271	+34	Lyr
18	1911 VI	0,024	26	319	+24	Vul
19	1916 III	0,022	Май 6	274	—53	λ Tel
20	137 до н. э.	0,004	23	346	—21	
21	1864 II	0,015	Июнь 22	9	+5	
22	1898 X	0,043	29	15,5	+29	β And
23	1909 II	0,039	Июль 1	208,5	+55,5	Boo
24	1770 I	0,02	Июль 6	275	—21	ρ Sgr
			Август 8	305	—17	

№	Комета	Δ	Дата		α	δ	Примечание
25	1889 IV	0,039		10	66°	−51°	
26	1933 IV	0,012		14	13,9	+10,4	η Psc
27	1946 II	0,042		25	26	+4	α Psc
28	1939 III	0,026	Август	4	19	−12	η Cet
29	1737 II	0,017		8	125,5	+80	UMr
30	1862 III	0,009		12	44	+57	
31	1870 I	0,022		16	28	+48	Per
32	1852 II	0,005		12	41	−13,5	σ Cet
33	1862 II	0,017		13	45	+12	δ Ari
		0,027		21	49	+13	
34	1900 II	0,016		22	66,5	−54,5	
35	1499	0,016		26	316	−64,5	
36	1911 II	0,005	Сентябрь	1	89	+40	β Aur
37	1854 III	0,018		13	53,5	−16	γ Eri
38	1763	0,028		23	44	−23	τ^3 Eri
39	1926 VI	0,004	Октябрь	10	262	+54	Dra
40	1893 IV	0,025		16	271	−35	
41	1779	0,022		22	39,5	−28,5	
42	1906 V	0,020		25	264	−34	
43	1132	0,047		27	168	+46	
44	1849 I	0,026		31	131	+77	
45	1366	0,003	Ноябрь	10	149,3	+31	
46	1866 I	0,007		15	150	+23	Leo
47	1743 I	0,025		17	24	+5	
48	1944 I	0,037		20	132	−8	τ Hya
49	1881 V	0,034		16	276	−35	
50	1680	0,041		28	131,5	+21,5	δ Cnc

Юлианский период

Число дней, протекших к нулевому числу каждого месяца с 1960 по 2000 г. Счет ведется от среднего гринвичского полудня.

Год	Январь 0	Февраль 0	Март 0	Апрель 0	Май 0	Июнь 0	Июль 0	Август 0	Сентябрь 0	Октябрь 0	Ноябрь 0	Декабрь 0
1960	2436 934	965	994	*025	*055	*086	*116	*147	*178	*208	*239	*269
1961	2437 300	331	359	390	420	451	481	512	543	573	604	634
1962	665	696	724	755	785	816	846	877	908	938	969	999
1963	2438 030	061	089	120	150	181	211	242	273	303	334	364
1964	395	426	455	486	516	547	577	608	639	669	700	730
1965	761	792	820	851	881	912	942	973	*004	*034	*065	*095
1966	2439 126	157	185	216	246	277	307	338	369	399	430	460
1967	491	522	550	581	611	642	672	703	734	764	795	825
1968	856	887	916	947	977	*008	*038	*069	*100	*130	*161	*191
1969	2440 222	253	281	312	342	373	403	434	465	495	526	556
1970	587	618	646	677	707	738	768	799	830	860	891	921
1971	952	983	*011	*042	*072	*103	*133	*164	*195	*225	*256	*286
1972	2441 317	348	377	408	438	469	499	530	561	591	622	652
1973	683	714	742	773	803	834	864	895	926	956	987	*017
1974	2442 048	079	107	138	168	199	229	260	291	321	352	382
1975	413	444	472	503	533	564	594	625	656	686	717	747
1976	778	809	838	869	899	930	960	991	*022	*052	*083	*113
1977	2443 144	175	203	234	264	295	325	356	387	417	448	478
1978	509	540	568	599	629	660	690	721	752	782	813	843
1979	2443 874	905	933	964	994	*025	*055	*086	*117	*147	*178	*208
1980	2444 239	270	299	330	360	391	421	452	483	513	544	574
1981	605	636	664	695	725	756	786	817	848	878	909	939
1982	970	001	029	060	090	121	151	182	213	243	274	304
1983	2445 335	366	394	425	455	486	516	547	578	608	639	669
1984	700	731	760	791	821	852	882	913	944	974	005	035
1985	2446 066	097	125	156	186	217	247	278	309	339	370	400
1986	431	462	490	521	551	582	612	643	674	704	735	765
1987	796	827	855	886	916	947	977	*008	*039	*069	*100	*130
1988	2447 161	192	221	252	282	313	343	374	405	435	466	496
1989	527	558	586	617	647	678	708	739	770	800	831	861
1990	892	923	951	982	*012	*043	*073	*104	*135	*165	*196	*226
1991	2448 257	288	316	347	377	408	438	469	500	530	561	591
1992	622	653	682	713	743	774	804	835	866	896	927	957
1993	988	*019	*047	*078	*108	*139	*169	*200	*231	*261	*292	*322
1994	2449 353	384	412	443	473	504	534	565	596	626	657	687
1995	718	749	777	808	838	869	899	930	961	991	*022	*052
1996	2450 083	114	143	174	204	235	265	296	327	357	388	418
1997	449	480	508	539	569	600	630	661	692	722	753	783
1998	814	845	873	904	934	965	995	*026	*057	*087	*118	*148
1999	2451 179	210	238	269	299	330	360	391	422	452	473	513
2000	2451 544	575	604	635	665	696	726	757	788	818	849	879

Звездочка означает, что первые четыре цифры нужно взять из второго столбца следующей строки.

Поправки звездного времени для разных долгот *)

(для приведения звездного времени в среднюю полночь в Гринвиче к звездному времени в среднюю полночь другой долготы)

Вост. долгота от Гринвича	Поправка	Вост. долгота от Гринвича	Поправка
0^h00^m	$0^m0^s,00$	6^h00^m	$-0^m59^s,14$
10	—0 1,64	10	—1 0,78
20	—0 3,29	20	—1 2,42
30	—0 4,93	30	—1 4,07
40	—0 6,57	40	—1 5,71
50	—0 8,21	50	—1 7,35
1 00	—0 9,86	7 00	—1 9,00
10	—0 11,50	10	—1 10,64
20	—0 13,41	20	—1 12,28
30	—0 14,79	30	—1 13,92
40	—0 16,43	40	—1 15,57
50	—0 18,07	50	—1 17,21
2 00	—0 19,71	8 00	—1 18,85
10	—0 21,36	10	—1 20,50
20	—0 23,00	20	—1 22,14
30	—0 24,64	30	—1 23,78
40	—0 26,28	40	—1 25,42
50	—0 27,93	50	—1 27,07
3 00	—0 29,57	9 00	—1 28,71
10	—0 31,21	10	—1 30,35
20	—0 32,86	20	—1 31,90
30	—0 34,50	30	—1 33,64
40	—0 36,14	40	—1 35,28
50	—0 37,78	50	—1 36,92
4 00	—0 39,43	10 00	—1 38,57
10	—0 41,07	10	—1 40,21
20	—0 42,71	20	—1 41,85
30	—0 44,35	30	—1 43,49
40	—0 46,00	40	—1 45,14
50	—0 47,64	50	—1 46,61
5 00	—0 49,28	11 00	—1 48,42
10	—0 50,93	10	—1 50,06
20	—0 52,57	20	—1 51,71
30	—0 54,21	30	—1 53,35
40	—0 55,85	40	—1 54,99
50	—0 57,50	50	—1 56,64
6 00	—0 59,14	12 00	—1 58,28

*) При западной долготе от Гринвича поправки берутся с обратным знаком.

	0^h	1^h	2^h	3^h	4^h	5^h		
0^m	0^d,000 000	0^d,041 667	0^d,083 333	0^d,125 000	0^d,166 667	0^d,208 333	0^s	0^d,000 000
1	0,000 694	0,042 361	0,084 028	0,125 694	0,167 361	0,209 028	1	0,000 012
2	0,001 389	0,043 056	0,084 722	0,126 389	0,168 056	0,209 722	2	0,000 023
3	0,002 083	0,043 750	0,085 417	0,127 083	0,168 750	0,210 417	3	0,000 035
4	0,002 778	0,044 444	0,086 111	0,127 778	0,169 444	0,211 111	4	0,000 046
5	0,003 472	0,045 139	0,086 806	0,128 472	0,170 139	0,211 806	5	0,000 058
6	0,004 167	0,045 833	0,087 500	0,129 167	0,170 833	0,212 500	6	0,000 069
7	0,004 861	0,046 528	0,088 194	0,129 861	0,171 528	0,213 194	7	0,000 081
8	0,005 556	0,047 222	0,088 889	0,130 556	0,172 222	0,213 889	8	0,000 093
9	0,006 250	0,047 917	0,089 583	0,131 250	0,172 917	0,214 583	9	0,000 104
10	0,006 944	0,048 611	0,090 276	0,131 944	0,173 611	0,215 278	10	0,000 116
11	0,007 639	0,049 306	0,090 972	0,132 639	0,174 306	0,215 972	11	0,000 127
12	0,008 333	0,050 000	0,091 667	0,133 333	0,175 000	0,216 667	12	0,000 139
13	0,009 028	0,050 694	0 092 361	0,134 028	0,175 694	0,217 361	13	0,000 150
14	0,009 722	0,051 389	0,093 056	0,134 722	0,176 389	0,218 056	14	0,000 162
15	0,010 417	0,052 083	0,093 750	0,135 417	0,177 083	0,218 750	15	0,000 174
16	0,011 111	0,052 778	0,094 444	0,136 111	0,177 778	0,219 444	16	0,000 185
17	0,011 806	0,053 472	0,095 139	0,136 806	0,178 472	0,220 139	17	0,000 197
18	0,012 500	0,054 167	0,095 833	0,137 500	0,179 167	0,220 833	18	0,000 208
19	0,013 194	0,054 861	0,096 528	0,138 194	0,179 861	0,221 528	19	0,000 220
20	0,013 889	0,055 556	0,097 222	0,138 889	0,180 566	0,222 222	20	0,000 231
21	0,014 583	0,056 250	0,097 917	0,139 583	0,181 250	0,222 917	21	0,000 243
22	0,015 278	0,056 944	0,098 611	0,140 278	0,181 944	0,223 611	22	0,000 255
23	0,015 972	0,057 639	0,099 306	0,140 972	0,182 639	0,224 306	23	0,000 266
24	0,016 667	0,058 333	0,100 000	0,141 667	0,183 333	0,225 000	24	0,000 278
25	0,017 361	0,059 028	0,100 694	0,142 361	0,184 028	0,225 694	25	0,000 289
26	0,018 056	0,059 722	0,101 389	0,143 056	0,184 722	0,226 389	26	0,000 301
27	0,018 750	0,060 417	0,102 083	0,143 750	0,185 417	0,227 083	27	0,000 313
28	0,019 444	0,061 111	0,102 778	0,144 444	0,186 111	0,227 778	28	0,000 324
29	0,020 139	0,061 806	0,103 472	0,145 139	0,186 806	0,228 472	29	0,000 366
30	0,020 833	0,062 500	0,104 167	0,145 833	0,187 500	0,229 167	30	0,000 347
31	0,021 528	0,063 194	0,104 861	0,146 528	0,188 194	0,229 861	31	0,000 359
32	0,022 222	0,063 889	0,105 556	0,147 222	0,188 889	0,230 556	32	0,000 370
33	0,022 917	0,064 583	0,106 250	0,147 917	0,189 583	0,231 250	33	0,000 382
34	0,023 611	0,065 278	0,106 944	0,148 611	0,190 278	0,231 944	34	0,000 394
35	0,024 306	0,065 972	0,107 639	0,149 306	0,190 972	0,232 639	35	0,000 405
36	0,025 000	0,066 667	0,108 333	0,150 000	0,191 667	0,233 333	36	0,000 417
37	0,025 694	0,067 361	0,109 028	0,150 694	0,192 361	0,234 028	37	0,000 428
38	0,026 389	0,068 056	0,109 772	0,151 389	0,193 056	0,234 722	38	0,000 440
39	0,027 083	0,068 750	0,110 417	0,152 083	0,193 750	0,235 417	39	0,000 451
40	0,027 778	0,069 444	0,111 111	0,152 778	0,194 444	0,236 111	40	0,000 463
41	0,028 472	0,070 139	0,111 806	0,153 472	0,195 139	0,236 806	41	0,000 475
42	0,029 167	0,070 833	0,112 500	0,154 167	0,195 833	0,237 500	42	0,000 486
43	0,029 861	0,071 528	0,113 194	0,154 861	0,196 528	0,238 194	43	0,000 498
44	0,030 556	0,072 222	0,113 889	0,155 556	0,197 222	0,238 889	44	0,000 509
45	0,031 250	0,072 917	0,114 583	0,156 250	0,197 917	0,239 583	45	0,000 521
46	0,031 944	0,073 611	0,115 278	0,156 944	0,198 611	0,240 278	46	0,000 532
47	0,032 639	0,074 306	0,115 972	0,157 639	0,199 306	0,240 972	47	0,000 544
48	0,033 333	0,075 000	0,116 667	0,158 333	0,200 000	0,241 667	48	0,000 556
49	0,034 028	0,075 694	0,117 361	0,159 028	0,200 694	0,242 361	49	0,000 567
50	0,034 722	0,076 389	0,118 056	0,159 722	0,201 389	0,244 056	50	0,000 579
51	0,035 417	0,077 083	0,118 750	0,160 417	0,202 083	0,243 750	51	0,000 590
52	0,036 111	0,077 778	0,119 444	0,161 111	0,202 778	0,244 444	52	0,000 602
53	0,036 806	0,078 472	0,120 139	0,161 806	0,203 472	0,245 139	53	0,000 613
54	0,037 500	0,079 167	0,120 833	0,162 500	0,204 167	0,245 833	54	0,000 625
55	0,038 194	0,079 861	0,121 528	0,163 194	0,204 861	0,246 528	55	0,000 637
56	0,038 889	0,080 556	0 122 222	0,163 889	0,205 556	0,247 222	56	0,000 648
57	0,039 583	0,081 250	0,122 917	0,164 583	0,206 250	0,247 917	57	0,000 660
58	0,040 278	0,081 944	0,123 611	0,165 278	0,206 944	0,248 611	58	0,000 671
59	0,040 972	0,082 639	0,124 306	0,165 972	0,207 639	0,249 306	59	0,000 683
60	0,041 667	0,083 333	0,125 000	0,166 667	0,208 333	0,250 000	60	0,000 694

времени в доли суток

	6^h	7^h	8^h	9^h	10^h	11^h		
0^m	0^d,250 000	0^d,291 667	0^d,333 333	0^d,375 000	0^d,416 667	0^d,458 333	0^s	0^d,000 000
1	0,250 694	0,292 361	0,334 028	0,375 694	0,417 361	0,459 028	1	0,000 012
2	0,251 389	0,293 056	0,334 722	0,376 389	0,418 056	0,459 722	2	0,000 023
3	0,252 083	0,293 750	0,335 417	0,377 083	0,418 750	0,460 417	3	0,000 035
4	0,252 778	0,294 444	0,336 111	0,377 778	0,419 444	0,461 111	4	0,000 046
5	0,253 472	0,295 139	0,336 806	0,378 472	0,420 139	0,461 806	5	0,000 058
6	0,254 167	0,295 833	0,337 500	0,379 167	0,420 833	0,462 500	6	0,000 069
7	0,254 861	0,296 528	0,338 194	0,379 861	0,421 528	0,463 194	7	0,000 081
8	0,255 556	0,297 222	0,338 889	0,380 556	0,422 222	0,463 889	8	0,000 093
9	0,256 250	0,297 917	0,339 583	0,381 250	0,422 917	0,464 583	9	0,000 104
10	0,256 944	0,298 611	0,340 278	0,381 944	0,423 611	0,465 278	10	0,000 116
11	0,257 639	0,299 306	0,340 972	0,382 639	0,424 306	0,465 972	11	0,000 127
12	0,258 333	0,300 000	0,341 667	0,383 333	0,425 000	0,466 667	12	0,000 139
13	0,259 028	0,300 694	0,342 361	0,384 028	0,425 694	0,467 361	13	0,000 150
14	0,259 722	0,301 389	0,343 056	0,384 722	0,426 389	0,468 056	14	0,000 162
15	0,260 417	0,302 083	0,343 750	0,385 417	0,427 083	0,468 750	15	0,000 174
16	0,261 111	0,302 778	0,344 444	0,386 111	0,427 778	0,469 444	16	0,000 185
17	0,261 806	0,303 472	0,345 139	0,386 806	0,428 472	0,470 139	17	0,000 197
18	0,262 500	0,304 167	0,345 833	0,387 500	0,429 167	0,470 833	18	0,000 208
19	0,263 194	0,304 761	0,346 528	0,388 194	0,429 861	0,471 528	19	0,000 220
20	0,263 389	0,305 556	0,347 222	0,388 889	0,430 556	0,472 222	20	0,000 231
21	0,264 583	0,306 250	0,347 917	0,389 583	0,431 250	0,472 917	21	0,000 243
22	0,265 278	0,306 944	0,348 611	0,390 278	0,431 944	0,473 611	22	0,000 255
23	0,265 972	0,307 639	0,349 306	0,390 972	0,432 639	0,474 306	23	0,000 266
24	0,266 667	0,308 333	0,350 000	0,391 667	0,433 333	0,475 000	24	0,000 278
25	0,267 361	0,309 028	0,350 694	0,392 361	0,434 028	0,475 694	25	0,000 289
26	0,268 056	0,309 722	0,351 389	0,393 056	0,434 722	0,476 389	26	0,000 301
27	0,268 750	0,310 417	0,352 083	0,393 750	0,435 417	0,477 083	27	0,000 313
28	0,269 444	0,311 111	0,352 778	0,394 444	0,436 111	0,477 778	28	0,000 324
29	0,270 139	0,311 806	0,353 472	0,395 139	0,436 806	0,478 472	29	0,000 336
30	0,270 833	0,312 500	0,354 167	0,395 833	0,437 500	0,479 167	30	0,000 347
31	0,271 528	0,313 194	0,354 861	0,396 528	0,438 194	0,479 861	31	0,000 359
32	0,272 222	0,313 889	0,355 556	0,397 222	0,438 889	0,480 556	32	0,000 370
33	0,272 917	0,314 583	0,356 250	0,397 917	0,439 593	0,481 250	33	0,000 382
34	0,273 611	0,315 278	0,356 944	0,398 611	0,440 278	0,481 944	34	0,000 394
35	0,274 306	0,315 972	0,357 639	0,399 306	0,440 972	0,482 639	35	0,000 405
36	0,275 000	0,316 667	0,358 333	0,400 000	0,441 667	0,483 333	36	0,000 417
37	0,275 694	0,317 361	0,355 028	0,400 694	0,442 361	0,484 028	37	0,000 428
38	0,276 389	0,318 056	0,359 722	0,401 389	0,443 056	0,484 722	38	0,000 440
39	0,277 083	0,318 750	0,360 417	0,402 083	0,443 750	0,485 417	39	0,000 451
40	0,277 778	0,319 444	0,361 111	0,402 778	0,444 444	0,486 111	40	0,000 463
41	0,278 472	0,320 139	0,361 806	0,403 472	0,445 139	0,486 806	41	0,000 475
42	0,279 167	0,320 833	0,362 500	0,404 167	0,445 833	0,487 500	42	0,000 486
43	0,279 861	0,321 528	0,363 194	0,404 861	0,446 528	0,488 194	43	0,000 498
44	0,280 556	0,322 222	0,363 889	0,405 556	0,447 222	0,488 889	44	0,000 509
45	0,281 250	0,322 917	0,364 583	0,406 250	0,447 917	0,489 583	45	0,000 521
46	0,281 944	0,323 611	0,365 278	0,406 944	0,448 611	0,490 278	46	0,000 532
47	0,282 639	0,324 306	0,365 972	0,407 639	0,449 306	0,490 972	47	0,000 544
48	0,283 333	0,325 000	0,366 667	0,408 333	0,450 000	0,491 667	48	0,000 556
49	0,284 029	0,325 694	0,367 361	0,409 028	0,450 694	0,492 361	49	0,000 567
50	0,284 722	0,326 389	0,368 056	0,409 722	0,451 386	0,493 056	50	0,000 579
51	0,285 417	0,327 083	0,368 750	0,410 417	0,452 083	0,498 750	51	0,000 590
52	0,286 111	0,327 778	0,369 444	0,411 111	0,452 778	0,494 444	52	0,000 602
53	0,286 806	0,328 472	0,370 139	0,411 806	0,453 472	0,495 139	53	0,000 613
54	0,287 500	0,329 167	0,370 833	0,412 500	0,454 167	0,495 833	54	0,000 625
55	0,288 194	0,329 861	0,371 528	0,413 194	0,454 861	0,496 528	55	0,000 637
56	0,288 889	0,330 556	0,372 222	0,413 889	0,455 556	0,497 222	56	0,000 648
57	0,289 583	0,331 250	0,372 917	0,414 583	0,456 250	0,497 917	57	0,000 660
58	0,290 279	0,331 944	0,373 611	0,415 278	0,456 944	0,498 611	58	0,000 671
59	0,290 972	0,332 639	0,374 306	0,415 972	0,457 639	0,499 306	59	0,000 688
60	0,291 667	0,333 333	0,375 000	0,416 667	0,458 333	0,500 000	60	0,000 694

Таблица 13а

Перевод измерений углов в градусах(°), минутах(′) и секундах(″) в измерения их в часах(h), минутах(m) и секундах(s) времени

Градусы				Минуты дуги				Секунды дуги				Десятые доли секунды дуги	
1°	$0^h\ 4^m$	120°	$8^h\ 0^m$	1′	$0^m\ 4^s$	31′	$2^m\ 4^s$	1″	$0^s,067$	31″	$2^s,067$	0″,1	$0^s,007$
2	0 8	130	8 40	2	0 8	32	2 8	2	0,133	22	2,133	0,2	0,013
3	0 12	140	920	3	0 12	33	2 12	3	0,200	33	2,200	0,3	0,020
4	0 16	150	10 0	4	0 16	34	2 16	4	0,267	34	2,267	0,4	0,027
5	0 20	160	10 40	5	0 20	35	2 20	5	0,333	35	2,333	0,5	0,033
6	0 24	170	11 20	6	0 24	36	2 24	6	0,400	36	2,400	0,6	0,040
7	0 28	180	12 0	7	0 28	37	2 28	7	0,467	37	2,467	0,7	0,047
8	0 32	190	12 40	8	0 32	38	2 32	8	0,533	38	2,533	0,8	0,053
9	0 36	200	13 20	9	0 36	39	2 36	9	0,600	39	2,600	0,9	0,060
10	0 40	210	13 0	10	0 40	40	2 40	10	0,667	40	2,667	1,0	0,067
11	0 44	220	14 40	11	0 44	41	2 44	11	0,733	41	2,733		
12	0 48	230	15 20	12	0 48	42	2 48	12	0,800	42	2,800		
13	0 52	240	16 0	13	0 52	43	2 52	13	0,867	43	2,867		
14	0 56	250	16 40	14	0 56	44	2 56	14	0,933	44	2,933		
15	1 0	260	17 20	15	1 0	45	3 0	15	1,000	45	3,000		
16	1 4	270	18 0	16	1 4	46	3 4	16	1,067	46	3,067		
17	1 8	280	18 40	17	1 8	47	3 8	17	1,133	47	3,133		
18	1 12	290	19 20	18	1 12	48	3 12	18	1,200	48	3,200		
19	1 16	300	20 0	19	1 16	49	3 16	19	1,267	49	3,267		
		310	20 40	20	1 20	50	3 20	20	1,333	50	3,333		
20	1 20	320	21 20	21	1 24	51	3 24	21	1,400	51	3,400		
30	2 0	330	22 0	22	1 28	52	3 28	22	1,467	52	3,467		
40	2 40	340	22 40	23	1 32	53	3 32	23	1,533	53	3,533		
50	3 20	350	23 20	24	1 36	54	3 36	24	1,600	54	3,600		
60	4 0	360	24 0	25	1 40	55	3 40	25	1,667	55	3,667		
70	4 40			26	1 44	56	3 44	26	1,733	56	3,733		
80	5 20			27	1 48	57	3 48	27	1,800	57	3,800		
90	6 0			28	1 52	58	3 52	28	1,867	58	8,867		
100	6 40			29	1 56	59	3 56	29	1,933	59	3,933		
110	7 20			30	2 0	60	4 0	30	2,000	60	4,000		

Таблица 136

Перевод измерений углов в часах (h), в минутах (m) и секундах (s) времени в измерения их в градусах (°), минутах (′) и секундах (″)

Часы		Минуты				Секунды				Сотые доли секунд							
1^h	15°	1^m	0°15′	31^m	7°45′	1^s	0′15″	31^s	7′45″	0^s,01	0″,15	0^s,26	3″,90	0^s,51	7″,65	0^s,76	11″,40
2	30	2	0 30	32	8 0	2	0 30	32	8 0	0,02	0,30	0,27	4,05	0,52	7,80	0,77	11,55
3	45	3	0 45	33	8 15	3	0 45	33	8 15	0,03	0,45	0,28	4,20	0,53	7,95	0,78	11,70
4	60	4	1 0	34	8 30	4	1 0	34	8 30	0,04	0,60	0,29	4,35	0,54	8,10	0,79	11,85
5	75	5	1 15	35	8 45	5	1 15	35	8 45	0,05	0,75	0,30	4,50	0,55	8,25	0,80	12,00
6	90	6	1 30	36	9 0	6	1 30	36	9 0	0,06	0,90	0,31	4,65	0,56	8,40	0,81	12,15
7	105	7	1 45	37	9 15	7	1 45	37	9 15	0,07	1,05	0,32	4,80	0,57	8,55	0,82	12,30
8	120	8	2 0	38	9 30	8	2 0	38	9 30	0,08	1,20	0,33	4,95	0,58	8,70	0,83	12,45
9	135	9	2 15	39	9 45	9	2 15	39	9 45	0,09	1,35	0,34	5,10	0,59	8,85	0,84	12,60
10	150	10	2 30	40	10 0	10	2 30	40	10 0	0,10	1,50	0,35	5,25	0,60	9,00	0,85	12,75
11	165	11	2 45	41	10 15	11	2 45	41	10 15	0,11	1,65	0,36	5,40	0,61	9,15	0,86	12,90
12	180	12	3 0	42	10 30	12	3 0	42	10 30	0,12	1,80	0,37	5,55	0,62	9,30	0,87	13,05
13	195	13	3 15	43	10 45	13	3 15	43	10 45	0,13	1,95	0,38	5,70	0,63	9,45	0,88	13,20
14	210	14	3 30	44	11 0	14	3 30	44	11 0	0,14	2,10	0,39	5,85	0,64	9,60	0,89	13,35
15	225	15	3 45	45	11 15	15	3 45	45	11 15	0,15	2,25	0,40	6,00	0,65	9,75	0,90	13,50
16	240	16	4 0	46	11 30	16	4 0	46	11 30	0,16	2,40	0,41	6,15	0,66	9,90	0,91	13,65
17	255	17	4 15	47	11 45	17	4 15	47	11 45	0,17	2,55	0,42	6,30	0,67	10,05	0,92	13,80
18	270	18	4 30	48	12 0	18	4 30	48	12 0	0,18	2,70	0,43	6,45	0,68	10,20	0,93	13,95
19	285	19	4 45	49	12 15	19	4 45	49	12 15	0,19	2,85	0,44	6,60	0,69	10,35	0,94	14,10
20	300	20	5 0	50	12 30	20	5 0	50	12 30	0,20	3,00	0,45	6,75	0,70	10,50	0,95	14,25
21	315	21	5 15	51	12 45	21	5 15	51	12 45	0,21	3,15	0,46	6,90	0,71	10,65	0,96	14,40
22	330	22	5 30	52	13 0	22	5 30	52	13 0	0,22	3,30	0,47	7,05	0,72	10,80	0,97	14,55
23	345	23	5 45	53	13 15	23	5 45	53	13 15	0,23	3,45	0,48	7,20	0,73	10,95	0,98	14,70
24	360	24	6 0	54	13 30	24	6 0	54	13 30	0,24	3,60	0,49	7,35	0,74	11,10	0,99	14,85
		25	6 15	55	13 45	25	6 15	55	13 45	0,25	3,75	0,50	7,50	0,75	11,25	1,00	15,00
		26	6 30	56	14 0	26	6 30	56	14 0								
		27	6 45	57	14 15	27	6 45	57	14 15								
		28	7 0	58	14 30	28	7 0	58	14 30								
		29	7 15	59	14 45	29	7 15	59	14 45								
		30	7 30	60	15 0	30	7 30	60	15 0								

Таблица 14

Поправка для перевода промежутков среднего времени в промежутки звездного

(Поправка прибавляется к соответствующим промежуткам среднего времени)

Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка	Сред. вр.	Поправка
h	m s	m	s	m	s	s	s	s	s
1	0 09,856	1	0,161	31	5,093	1	0,003	31	0,085
2	0 19,713	2	0,329	32	5,257	2	0,005	32	0,088
3	0 29,569	3	0,493	33	5,421	3	0,008	33	0,090
4	0 39,426	4	0,657	34	5,585	4	0,011	34	0,093
5	0 49,282	5	0,821	35	5,750	5	0,014	35	0,096
6	0 56,139	6	0,986	36	5,914	6	0,016	36	0,099
7	1 08,995	7	1,150	37	6,078	7	0,019	37	0,101
8	1 18,852	8	1,314	38	6,242	8	0,022	38	0,104
9	1 28,708	9	1,478	39	6,407	9	0,025	39	0,107
10	1 38,565	10	1,643	40	6,571	10	0,027	40	0,110
11	1 48,421	11	1,807	41	6,735	11	0,030	41	0,112
12	1 58,278	12	1,971	42	6,900	12	0,033	42	0,115
13	2 08,134	13	2,136	43	7,064	13	0,036	43	0,118
14	2 17,991	14	2,300	44	7,228	14	0,038	44	0,120
15	2 27,847	15	2,464	45	7,392	15	0,041	45	0,123
16	2 37,704	16	2,628	46	7,557	16	0,044	46	0,126
17	2 47,560	17	2,793	47	7,721	17	0,047	47	0,129
18	2 57,417	18	2,957	48	7,885	18	0,049	48	0,131
19	3 06,273	19	3,121	49	8,049	19	0,052	49	0,134
20	3 17,129	20	3,285	50	8,214	20	0,055	50	0,137
21	3 26,986	21	3,450	51	8,378	21	0,057	51	0,140
22	3 36,842	22	3,614	52	8,542	22	0,060	52	0,142
23	3 46,699	23	3,778	53	8,707	23	0,063	53	0,145
24	3 56,555	24	3,943	54	8,871	24	0,066	54	0,148
		25	4,107	55	9,035	25	0,068	55	0,151
		26	4,241	56	9,199	26	0,071	56	0,153
		27	4,435	57	9,364	27	0,074	57	0,156
		28	4,600	58	9,528	28	0,077	58	0,159
		29	4,764	59	9,692	29	0,079	59	0,162
		30	4,928	60	9,856	30	0,082	60	0,164

Поправки для перевода промежутков звездного времени в промежутки среднего

Поправки вычитаются из соответствующих промежутков звездного времени. Окончательная поправка есть сумма поправок к табличным значениям. Например, для промежутка в $4^h32^m15^s$ звездного времени поправка равняется $39^s,318 + 5^s,242 + 0^s,041 = 44^s,601$.

Звездное	Поправка	Звездное	Поправка	Звездное	Поправка	Звездное	Поправка	Звездное	Поправка
1^h	$0^m09^s,830$	1^m	$0^s,164$	31^m	$5^s,079$	1^s	$0^s,003$	31^s	$0^s,085$
2	0 19,659	2	0,328	32	5,242	2	0,005	32	0,087
3	0 29,489	3	0,491	33	5,406	3	0,008	33	0,090
4	0 39,318	4	0,655	34	5,570	4	0,011	34	0,093
5	0 49,148	5	0,819	35	5,734	5	0,014	35	0,096
6	0 58,977	6	0,983	36	5,898	6	0,016	36	0,098
7	1 08,807	7	1,147	37	6,062	7	0,019	37	0,101
8	1 18,636	8	1,311	38	6,225	8	0,022	38	0,104
9	1 28,466	9	1,474	39	6,389	9	0,025	39	0,107
10	1 38,296	10	1,638	40	6,553	10	0,027	40	0,109
11	1 48,125	11	1,802	41	6,717	11	0,030	41	0,112
12	1 57,955	12	1,966	42	6,881	12	0,033	42	0,115
13	2 07,784	13	2,130	43	7,045	13	0,036	43	0,117
14	2 17,614	14	2,294	44	7,208	14	0,038	44	0,120
15	2 27,443	15	2,457	45	7,372	15	0,041	45	0,123
16	2 37,273	16	2,621	46	7,536	16	0,044	46	0,126
17	2 47,102	17	2,785	47	7,700	17	0,046	47	0,128
18	2 56,932	18	2,949	48	7,864	18	0,049	48	0,131
19	3 06,762	19	3,113	49	8,027	19	0,052	49	0,134
20	3 16,591	20	3,277	50	8,191	20	0,055	50	0,137
21	3 26,421	21	3,440	51	8,355	21	0,057	51	0,139
22	3 36,250	22	3,604	52	8,519	22	0,060	52	0,142
23	3 46,080	23	3,768	53	8,683	23	0,064	53	0,145
24	3 55,910	24	3,932	54	8,847	24	0,066	54	0,147
		25	4,096	55	9,010	25	0,068	55	0,150
		26	4,259	56	9,174	26	0,071	56	0,153
		27	4,423	57	9,338	27	0,074	57	0,156
		28	4,587	58	9,502	28	0,076	58	0,158
		29	4,751	59	9,666	29	0,079	59	0,161
		30	4,915	60	9,830	30	0,082	60	0,164

Средняя рефракция

(при температуре +10 °С и барометрическом давлении 760 мм рт. ст. = 1013 гПа (гектопаскалей). Поправки за температуру и давление см. ниже)

z	R	z	R	z	R	z	R	z	R
0°	0′00″	35°	0′41″	68° 0′	2′23″	79° 0′	4′51″	85° 0′	9′52″
1	1	36	42	20	26	20	5 00	10	10 8
2	2	37	44	40	28	40	9	20	10 26
3	3	38	45	69 0	30	80 0	5 19	30	10 45
4	4	39	47	20	33	10	5 24	30	11 4
5	0 05	40	0 49	40	36	20	5 29	50	11 24
6	6	41	51	70 0	2 38	30	5 35	86 0	11 45
7	7	42	52	20	41	40	5 41	10	12 7
8	8	43	54	40	44	50	5 46	20	12 30
9	9	44	56	71 0	47	81 0	5 52	30	12 55
10	0 10	45	0 58	20	50	10	5 59	40	13 22
11	11	46	1 00	40	53	20	6 5	50	13 51
12	12	47	2	72 0	2 57	30	6 12	87 0	14 22
13	13	48	5	20	3 0	40	6 19	10	14 55
14	14	49	7	40	4	50	6 26	20	15 31
15	0 16	50	1 9	73 0	8	82 0	6 33	30	16 9
16	17	51	12	20	12	10	6 41	40	16 49
17	18	52	14	40	16	20	6 49	50	17 32
18	19	53	17	74 0	3 20	30	6 57	88 0	18 18
19	20	54	20	20	24	40	7 5	10	19 8
20	0 21	55	1 23	40	29	50	7 14	20	20 2
21	22	56	26	75 0	33	83 0	7 24	30	21 1
22	24	57	29	20	38	10	7 33	40	22 7
23	25	58	33	40	43	20	7 43	50	23 19
24	26	59	37	76 0	3 49	30	7 54	89 0	24 37
25	0 27	60	1 41	20	54	40	8 5	10	26 3
26	28	61	45	40	4 0	50	8 16	20	27 36
27	30	62	49	77 0	4 6	84 0	8 28	30	29 18
28	31	63	54	20	13	10	8 40	40	31 9
29	32	64	1 59	40	19	20	8 53	50	33 11
30	0 34	65,0	2 4	78 0	4 27	30	9 7	90 0	35 24
31	35	65,5	7	20	34	40	9 21		
32	36	66,0	10	40	42	50	9 36		
33	38	66,5	13						
34	39	67,0	16						
		67,5	20						
35	0 41	68,0	2 23						

Таблица 166

Поправки к средней рефракции за температуру T и барометрическое давление B

T / z	−20°	−15°	−10°	−5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	B / z	760 мм 1013 гПа	750 мм 1007 гПа	740 мм 987 гПа	730 мм 973 гПа	720 мм 960 гПа
	+	+	+	+	+	+		−	−	−	−	−			−	−	−	−
0°	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0″	0	0″	0″	0″	0″
10	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	10	0	0	0	0	1
20	3	2	2	1	1	0	0	0	1	1	2	2	20	0	0	0	1	1
30	4	3	3	2	1	1	0	1	1	2	3	3	30	0	0	1	1	2
40	6	4	4	3	2	1	0	1	2	3	4	4	40	0	1	2	2	3
45	7	5	5	3	2	1	0	1	2	3	4	4	45	0	1	2	3	4
50	8	6	5	4	3	1	0	1	3	4	5	5	50	0	1	2	3	4
55	10	8	6	4	3	2	0	2	3	4	6	6	55	0	1	2	4	5
60	12	10	7	5	4	2	0	2	4	5	7	8	60	0	1	3	4	5
65	15	12	10	7	5	2	0	2	4	6	8	10	65	0	2	3	5	6
70	19	15	12	9	6	3	0	3	5	8	10	12	70	0	2	4	6	8
71	20	16	12	9	6	3	0	3	5	8	10	13	71	0	2	4	6	8
72	21	17	13	10	6	4	0	3	6	9	11	14	72	0	2	5	7	9
73	23	18	14	11	7	4	0	4	6	9	12	15	73	0	3	5	7	9
74	24	19	15	12	7	4	0	4	7	10	13	16	74	0	3	5	8	10
75	26	20	16	13	8	4	0	4	7	11	14	17	75	0	3	6	8	11
76	28	22	17	14	8	4	0	4	8	12	15	18	76	0	3	6	9	12
77	30	24	19	15	9	4	0	4	8	13	16	20	77	0	4	6	9	13
78	33	26	21	16	10	5	0	5	9	14	18	22	78	0	4	7	10	14
79	36	29	23	17	11	5	0	5	10	15	20	24	79	0	4	8	11	15
80	40	32	25	19	12	6	0	6	11	16	22	27	80	0	4	8	12	17
	+	+	+	+	+	+		−	−	−	−	−			+	+	+	+
z / T	−20°	−15°	−10°	−5°	0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30°	+35°	z / B	760 мм 1013 гПа	770 мм 1027 гПа	780 мм 1040 гПа	790 мм 1053 гПа	800 мм 1067 гПа

Пример $z = 76° 23'$; $T = +22°,7$ С; $B = 745,2$ м $= 994$ гПа

Средняя рефракция	3′ 55″
Поправка за T	−10
» за B	−5
Рефракция	3′ 40″

Моменты восхода и захода Солнца по местному
(Моменты вычислены для меридиана Гринвича и нуждаются в поправке за долготу от Гринвича (табл. 17в). Поправки вводятся

	0°		10°		15°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Январь						
1	06^h00^m	18^h07^m	06^h17^m	17^h50^m	06^h26^m	17^h41^m
6	06 02	18 10	06 19	17 53	06 28	17 44
11	06 04	18 12	06 20	17 56	06 29	17 47
16	06 06	18 14	06 22	17 58	06 30	17 50
21	06 08	18 15	06 22	18 01	06 30	17 53
26	06 09	18 16	06 23	18 03	06 30	17 56
31	06 10	18 17	06 23	18 05	06 29	17 58
Февраль						
5	06 11	18 18	06 22	18 06	06 28	18 00
10	06 11	18 18	06 21	18 08	06 27	18 02
15	06 11	18 18	06 20	18 09	06 25	18 04
20	06 10	18 17	06 18	18 10	06 22	18 06
25	06 10	18 17	06 16	18 10	06 20	18 07
Март						
2	06 09	18 16	06 14	18 11	06 17	18 08
7	06 08	18 15	06 12	18 11	06 14	18 09
12	06 07	18 13	06 09	18 11	06 10	18 10
17	06 05	18 12	06 06	18 11	06 07	18 11
22	06 04	18 10	06 03	18 11	06 03	18 11
27	06 02	18 09	06 00	18 11	05 59	18 12
Апрель						
1	06 01	18 07	05 57	18 11	05 56	18 12
6	05 59	18 06	05 55	18 11	05 52	18 13
11	05 58	18 04	05 52	18 10	05 49	18 14
16	05 57	18 03	05 49	18 11	05 46	18 14
21	05 55	18 02	05 47	18 11	05 42	18 15
26	05 54	18 01	05 45	18 11	05 40	18 16
Май						
1	05 54	18 00	05 43	18 12	05 37	18 17
6	05 53	18 00	05 41	18 12	05 35	18 19
11	05 53	18 00	05 40	18 13	05 33	18 20
16	05 53	18 00	05 39	18 14	05 31	18 21
21	05 53	18 00	05 38	18 15	05 30	18 23
26	05 53	18 01	05 38	18 16	05 29	18 25
31	05 54	18 01	05 38	18 18	05 29	18 26
Июнь						
5	05 54	18 01	05 38	18 19	05 29	18 28
10	05 56	18 03	05 38	18 20	05 29	18 29
15	05 57	18 04	05 39	18 22	05 30	18 31
20	05 58	18 05	05 40	18 23	05 31	18 32
25	05 59	18 06	05 41	18 24	05 32	18 33
30	06 00	18 07	05 43	18 25	05 33	18 34

Таблица 17а

среднему времени для широт от экватора до + 70°

для различных лет за смещение начала года (табл. 17б) и в поправке в дату при интерполировании табличных данных)

20°		25°		30°		35°	
Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
06^h35^m	17^h32^m	06^h45^m	17^h22^m	06^h56^m	17^h11^m	07^h08^m	16^h59^m
06 37	17 35	06 46	17 26	06 57	17 15	07 09	17 03
06 38	17 39	06 47	17 29	06 57	17 19	07 09	17 08
06 38	17 42	06 47	17 33	06 57	17 23	07 08	17 13
06 38	17 45	06 46	17 37	06 55	17 28	07 06	17 17
06 37	17 48	06 45	17 41	06 54	17 32	07 03	17 23
06 36	17 51	06 43	17 44	06 51	17 36	07 00	17 28
06 34	17 54	06 41	17 48	06 48	17 41	06 56	17 33
06 32	17 57	06 38	17 51	06 44	17 45	06 51	17 38
06 29	17 59	06 35	17 54	06 40	17 49	06 46	17 43
06 26	18 02	06 31	17 57	06 36	17 53	06 41	17 47
06 23	18 04	06 27	18 00	06 31	17 56	06 35	17 52
06 19	18 05	06 22	18 03	06 25	18 00	06 29	17 56
06 15	18 07	06 18	18 05	06 20	18 03	06 22	18 01
06 11	18 09	06 13	18 08	06 14	18 06	06 15	18 05
06 07	18 10	06 08	18 10	06 08	18 10	06 08	18 09
06 03	18 12	06 02	18 12	06 02	18 13	06 01	18 13
05 58	18 13	05 57	18 14	05 56	18 16	05 54	18 17
05 54	18 14	05 52	18 16	05 50	18 19	05 47	18 21
05 50	18 16	05 47	18 18	05 44	18 22	05 40	18 25
05 46	18 17	05 42	18 21	05 38	18 25	05 34	18 29
05 42	18 19	05 37	18 23	05 33	18 28	05 27	18 33
05 38	18 20	05 33	18 25	05 27	18 31	05 21	18 37
05 34	18 22	05 28	18 28	05 22	18 34	05 15	18 41
05 31	18 23	05 25	18 30	05 17	18 37	05 10	18 45
05 28	18 25	05 21	18 33	05 13	18 40	05 04	18 49
05 26	18 27	05 18	18 35	05 09	18 44	05 00	18 53
05 24	18 29	05 15	18 38	05 06	18 47	04 56	18 57
05 22	18 31	05 13	18 40	05 03	18 50	04 52	19 01
05 21	18 33	05 11	18 43	05 01	18 53	04 50	19 05
05 20	18 35	05 10	18 45	05 00	18 56	04 48	19 08
05 20	18 37	05 10	18 47	04 59	18 58	04 46	19 11
05 20	18 39	05 10	18 49	04 58	19 01	04 45	19 13
05 20	18 40	05 10	18 51	04 58	19 02	04 45	19 15
05 21	18 42	05 11	18 52	04 59	19 04	04 46	19 17
05 22	18 43	05 12	18 53	05 00	19 05	04 47	19 18
05 24	18 43	05 13	18 54	05 02	19 05	04 49	19 18

	0°		10°		15°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Июль						
5	06^h01^m	18^h08^m	05^h44^m	18^h25^m	05^h35^m	18^h34^m
10	06 02	18 09	05 45	18 26	05 36	18 34
15	06 02	18 10	05 46	18 26	05 38	18 34
20	06 03	18 10	05 47	18 25	05 39	18 33
25	06 03	18 10	05 48	18 24	05 41	18 32
30	06 03	18 10	05 49	18 23	05 42	18 31
Август						
4	06 03	18 10	05 50	18 22	05 43	18 29
9	06 02	18 09	05 50	18 20	05 44	18 26
14	06 01	18 08	05 51	18 18	05 45	18 24
19	06 00	18 07	05 51	18 16	05 46	18 21
24	05 59	18 06	05 51	18 14	05 47	18 18
29	05 58	18 04	05 51	18 11	05 47	18 14
Сентябрь						
3	05 56	18 03	05 51	18 08	05 48	18 11
8	05 54	18 01	05 50	18 05	05 48	18 07
13	05 53	17 59	05 50	18 02	05 48	18 03
18	05 51	17 57	05 50	17 59	05 49	18 00
23	05 49	17 56	05 49	17 56	05 49	17 56
28	05 48	17 54	05 49	17 53	05 49	17 52
Октябрь						
3	05 46	17 52	05 48	17 50	05 50	17 48
8	05 44	17 51	05 48	17 47	05 51	17 45
13	05 43	17 50	05 48	17 44	05 51	17 41
18	05 42	17 49	05 49	17 42	05 52	17 38
23	05 41	17 48	05 49	17 40	05 53	17 35
28	05 41	17 47	05 50	17 38	05 55	17 33
Ноябрь						
2	05 40	17 47	05 51	17 36	05 56	17 31
7	05 40	17 47	05 52	17 35	05 58	17 29
12	05 41	17 48	05 53	17 35	06 00	17 28
17	05 41	17 49	05 55	17 35	06 02	17 27
22	05 43	17 50	05 57	17 35	06 05	17 27
27	05 44	17 51	06 00	17 36	06 08	17 28
Декабрь						
2	05 46	17 53	06 02	17 37	06 10	17 28
7	05 48	17 55	06 04	17 38	06 13	17 30
12	05 50	17 57	06 07	17 40	06 16	17 31
17	05 52	18 00	06 10	17 42	06 19	17 33
22	05 54	18 01	06 12	17 44	06 21	17 35
27	05 57	18 05	06 15	17 48	06 24	17 39
31	05 59	18 07	06 17	17 50	06 25	17 41

20°		25°		30°		35°	
Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
05ʰ25ᵐ	18ʰ44ᵐ	05ʰ15ᵐ	18ʰ54ᵐ	05ʰ04ᵐ	19ʰ05ᵐ	04ʰ51ᵐ	19ʰ18ᵐ
05 27	18 43	05 17	18 53	05 06	19 04	04 54	19 16
05 29	18 43	05 19	18 52	05 09	19 03	04 57	19 14
05 31	18 42	05 22	18 51	05 12	19 01	05 00	19 12
05 33	18 40	05 24	18 49	05 15	18 58	05 04	19 09
05 35	18 38	05 26	18 46	05 18	18 55	05 08	19 05
05 36	18 36	05 29	18 43	05 20	18 51	05 11	19 00
05 38	18 33	05 31	18 40	05 24	18 47	05 15	18 55
05 40	18 30	05 33	18 36	05 27	18 42	05 19	18 50
05 41	18 26	05 35	18 31	05 29	18 37	05 23	18 44
05 42	18 22	05 38	18 27	05 32	18 32	05 26	18 38
05 44	18 18	05 40	18 22	05 35	18 26	05 30	18 30
05 45	18 14	05 42	18 17	05 38	18 21	05 34	18 24
05 46	18 09	05 43	18 12	05 41	18 14	05 38	18 17
05 47	18 05	05 45	18 07	05 43	18 08	05 41	18 10
05 48	18 00	05 47	18 01	05 46	18 02	05 45	18 03
05 49	17 56	05 49	17 56	05 49	17 56	05 48	17 56
05 50	17 51	05 51	17 50	05 51	17 50	05 52	17 49
05 51	17 47	05 53	17 45	05 54	17 43	05 56	17 42
05 53	17 42	05 55	17 40	05 57	17 38	06 00	17 35
05 54	17 38	05 57	17 35	06 00	17 32	06 04	17 28
05 56	17 35	06 00	17 31	06 04	17 26	06 08	17 22
05 58	17 31	06 02	17 26	06 07	17 21	06 13	17 16
06 00	17 28	06 05	17 22	06 11	17 17	06 17	17 09
06 02	17 25	06 08	17 19	06 14	17 02	06 12	17 05
06 04	17 23	06 11	17 16	06 18	17 09	06 26	17 01
06 07	17 21	06 14	17 14	06 22	17 06	06 31	16 57
06 10	17 20	06 18	17 12	06 27	17 03	06 36	16 54
06 13	17 19	06 21	17 11	06 31	17 01	06 41	16 51
06 16	17 19	06 25	17 10	06 35	17 00	06 46	16 49
06 19	17 20	06 29	17 10	06 39	17 00	06 50	16 48
06 22	17 21	06 32	17 11	06 43	17 00	06 55	16 48
06 25	17 22	06 35	17 12	06 46	17 01	06 58	16 49
06 28	17 24	06 38	17 14	06 49	17 03	07 02	16 50
06 30	17 25	06 40	17 15	06 52	17 04	07 04	16 52
06 33	17 29	06 43	17 19	06 54	17 08	07 07	16 56
06 35	17 31	06 45	17 21	06 56	17 10	07 08	16 58

	40°		42°		44°		46°	
	Восх.	Зах.	Восх	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Январь								
1	07ʰ22ᵐ	16ʰ45ᵐ	07ʰ28ᵐ	16ʰ39ᵐ	07ʰ35ᵐ	16ʰ33ᵐ	07ʰ42ᵐ	16ʰ25ᵐ
6	07 22	16 50	07 28	16 44	07 35	16 37	07 42	16 30
11	07 22	16 55	07 27	16 49	07 34	16 43	07 40	16 36
16	07 20	17 00	07 25	16 55	07 31	16 49	07 38	16 42
21	07 17	17 06	07 22	17 01	07 28	16 55	07 34	16 49
26	07 14	17 12	07 19	17 07	07 24	17 02	07 30	16 56
31	07 10	17 18	07 14	17 13	07 19	17 09	07 24	17 04
Февраль								
5	07 05	17 24	07 09	17 20	07 13	17 16	07 18	17 11
10	06 59	17 30	07 03	17 26	07 07	17 22	07 11	17 18
15	06 53	17 36	06 56	17 33	07 00	17 29	07 03	17 26
20	06 47	17 41	06 49	17 39	06 52	17 36	06 55	17 33
25	06 40	17 47	06 42	17 45	06 44	17 43	06 47	17 40
Март								
2	06 32	17 53	06 34	17 51	06 36	17 49	06 38	17 48
7	06 25	17 58	06 26	17 57	06 27	17 56	06 29	17 55
12	06 17	18 04	06 18	18 03	06 18	18 02	06 19	18 01
17	06 09	18 09	06 09	18 09	06 09	18 08	06 10	18 08
22	06 01	18 14	06 01	18 14	06 00	18 15	06 00	18 15
27	05 53	18 19	05 52	18 20	05 51	18 21	05 50	18 22
Апрель								
1	05 45	18 24	05 43	18 25	05 42	18 27	05 41	18 28
6	05 37	18 29	05 35	18 31	05 33	18 33	05 31	18 35
11	05 29	18 34	05 27	18 36	05 24	18 39	05 22	18 41
16	05 21	18 39	05 19	18 42	05 16	18 45	05 13	18 48
21	05 14	18 44	05 11	18 48	05 07	18 51	05 04	18 55
26	05 07	18 49	05 03	18 53	05 00	18 57	04 55	19 01
Май								
1	05 00	18 54	04 56	18 58	04 52	19 03	04 47	19 08
6	04 54	18 59	04 50	19 04	04 45	19 09	04 40	19 14
11	04 49	19 04	04 44	19 09	04 39	19 15	04 33	19 20
16	04 44	19 09	04 39	19 14	04 33	19 20	04 27	19 26
21	04 40	19 14	04 34	19 19	04 28	19 25	04 22	19 32
26	04 36	19 18	04 31	19 24	04 24	19 30	04 17	19 37
31	04 34	19 22	04 28	19 28	04 21	19 35	04 14	19 42
Июнь								
5	04 32	19 25	04 25	19 32	04 18	19 39	04 11	19 46
10	04 31	19 28	04 24	19 35	04 17	19 42	04 09	19 50
15	04 30	19 30	04 24	19 37	04 16	19 44	04 09	19 52
20	04 31	19 32	04 24	19 39	04 17	19 46	04 09	19 54
25	04 32	19 33	04 25	19 40	04 18	19 47	04 10	19 55
30	04 34	19 33	04 27	19 40	04 20	19 47	04 12	19 55

48°		50°		52°		54°	
Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
07ʰ50ᵐ	16ʰ17ᵐ	07ʰ59ᵐ	16ʰ09ᵐ	08ʰ08ᵐ	15ʰ59ᵐ	08ʰ19ᵐ	15ʰ48ᵐ
07 49	16 23	07 58	16 14	08 07	16 05	08 18	15 55
07 48	16 29	07 56	16 21	08 04	16 12	08 14	16 02
07 45	16 36	07 52	16 28	08 01	16 20	08 10	16 10
07 41	16 43	07 48	16 36	07 55	16 28	08 04	16 19
07 36	16 50	07 42	16 44	07 49	16 37	07 57	16 29
07 29	16 58	07 35	16 52	07 42	16 46	07 49	16 39
07 23	17 06	07 28	17 01	07 34	16 55	07 40	16 49
07 15	17 14	07 20	17 09	07 25	17 04	07 31	16 59
07 07	17 22	07 11	17 18	07 16	17 14	07 21	17 09
06 58	17 30	07 02	17 27	07 06	17 23	07 10	17 19
06 49	17 38	06 52	17 35	06 55	17 32	06 59	17 29
06 40	17 46	06 42	17 43	06 44	17 41	06 47	17 39
06 30	17 53	06 32	17 52	06 33	17 50	06 35	17 48
06 20	18 01	06 21	18 00	06 22	17 59	06 23	17 58
06 10	18 08	06 10	18 08	06 10	18 08	06 11	18 07
06 00	18 15	05 59	18 16	05 59	18 16	05 59	18 17
05 49	18 23	05 48	18 24	05 47	18 25	05 46	18 26
05 39	18 30	05 37	18 32	05 36	18 33	05 34	18 36
05 29	18 37	05 27	18 39	05 24	18 42	05 21	18 45
05 19	18 44	05 16	18 47	05 13	18 51	05 09	18 54
05 09	18 51	05 06	18 55	05 02	18 59	04 58	19 03
05 00	18 59	04 56	19 03	04 51	19 08	04 46	19 13
04 51	19 06	04 46	19 11	04 41	19 16	04 35	19 22
04 42	19 13	04 37	19 18	04 31	19 24	04 24	19 31
04 34	19 20	04 28	19 26	04 22	19 33	04 14	19 40
04 27	19 27	04 20	19 33	04 13	19 41	04 05	19 49
04 20	19 33	04 13	19 40	04 05	19 49	03 56	19 58
04 15	19 39	04 07	19 47	03 58	19 56	03 48	20 06
04 10	19 45	04 01	19 53	03 52	20 03	03 42	20 13
04 06	19 50	03 57	19 59	03 47	20 09	03 36	20 20
04 03	19 55	03 53	20 04	03 43	20 14	03 32	20 26
04 01	19 58	03 51	20 08	03 41	20 18	03 29	20 31
04 00	20 01	03 50	20 11	03 39	20 22	03 27	20 34
04 00	20 03	03 50	20 13	03 39	20 23	03 27	20 36
04 01	20 04	03 52	20 13	03 41	20 24	03 28	20 36
04 04	20 03	03 54	20 13	03 43	20 24	03 31	20 36

	40°		42°		44°		46°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх	Зах.	Восх	Зах.
Июль								
5	04^h37^m	19^h32^m	04^h30^m	19^h39^m	04^h23^m	19^h46^m	04^h15^m	19^h53^m
10	04 40	19 30	04 33	19 37	04 27	19 44	04 19	19 51
15	04 43	19 28	04 37	19 34	04 31	19 41	04 24	19 48
20	04 47	19 25	04 41	19 31	04 35	19 37	04 28	19 44
25	04 52	19 21	04 46	19 26	04 40	19 32	04 34	19 38
30	04 56	19 16	04 51	19 21	04 46	19 27	04 40	19 32
Август								
4	05 01	19 11	04 56	19 15	04 51	19 20	04 46	19 26
9	05 05	19 05	05 01	19 09	04 57	19 14	04 52	19 19
14	05 10	18 58	05 06	19 02	05 02	19 06	04 58	19 11
19	05 15	18 52	05 12	18 55	05 08	18 59	05 04	19 02
24	05 20	18 44	05 17	18 47	05 14	18 50	05 10	18 54
29	05 24	18 37	05 22	18 39	05 19	18 42	05 16	18 45
Сентябрь								
3	05 29	18 29	05 27	18 31	05 25	18 33	05 23	18 35
8	05 34	18 21	05 32	18 22	05 31	18 24	05 29	18 26
13	05 39	18 13	05 38	18 14	05 36	18 15	05 35	18 16
18	05 43	18 04	05 43	18 05	05 42	18 06	05 41	18 06
23	05 48	17 56	05 48	17 56	05 48	17 56	05 48	17 56
28	05 53	17 48	05 53	17 47	05 54	17 47	05 54	17 47
Октябрь								
3	05 58	17 40	05 59	17 39	06 00	17 38	06 01	17 37
8	06 03	17 32	06 04	17 30	06 06	17 29	06 07	17 27
13	06 08	17 24	06 10	17 22	06 12	17 20	06 14	17 18
18	06 13	17 17	06 16	17 14	06 18	17 12	06 20	17 09
23	06 19	17 10	06 21	17 07	06 24	17 04	06 27	17 01
28	06 24	17 03	06 27	17 00	06 31	16 56	06 34	16 53
Ноябрь								
2	06 30	16 57	06 34	16 53	06 37	16 49	06 42	16 45
7	06 36	16 51	06 40	16 47	06 44	16 43	06 49	16 38
12	06 41	16 47	06 46	16 42	06 51	16 37	06 56	16 32
17	06 47	16 42	06 52	16 38	06 57	16 32	07 03	16 27
22	06 53	16 39	06 58	16 34	07 04	16 28	07 10	16 22
27	06 58	16 37	07 04	16 31	07 10	16 25	07 16	16 19
Декабрь								
2	07 03	16 35	07 09	16 29	07 16	16 23	07 22	16 16
7	07 08	16 35	07 14	16 29	07 21	16 22	07 28	16 15
12	07 12	16 35	07 19	16 29	07 25	16 22	07 33	16 15
17	07 16	16 36	07 22	16 30	07 29	16 23	07 36	16 16
22	07 18	16 38	07 24	16 31	07 31	16 24	07 39	16 17
27	07 21	16 41	07 27	16 35	07 34	16 28	07 41	16 21
31	07 22	16 44	07 28	16 38	07 35	16 31	07 42	16 24

48°		50°		52°		54°	
Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
04h07m	20h02m	03h58m	20h11m	03h47m	20h21m	03h35m	20h33m
04 11	19 59	04 02	20 08	03 52	20 18	03 40	20 29
04 16	19 56	04 07	20 04	03 57	20 14	03 47	20 24
04 21	19 51	04 13	19 59	04 04	20 08	03 54	20 18
04 27	19 45	04 19	19 53	04 11	20 01	04 01	20 11
04 33	19 39	04 26	19 46	04 18	19 54	04 09	20 02
04 40	19 32	04 33	19 38	04 26	19 45	04 18	19 53
04 46	19 24	04 40	19 30	04 34	19 36	04 27	19 43
04 53	19 16	04 48	19 21	04 42	19 26	04 35	19 33
05 00	19 07	04 55	19 11	04 50	19 16	04 44	19 22
05 06	18 57	05 02	19 01	04 58	19 06	04 53	19 10
05 13	18 48	05 10	18 51	05 06	18 54	05 02	18 58
05 20	18 38	05 17	18 40	05 14	18 43	05 11	18 47
05 27	18 28	05 25	18 30	05 23	18 32	05 20	18 34
05 34	18 17	05 32	18 19	05 31	18 20	05 29	18 22
05 41	18 07	05 40	18 08	05 39	18 08	05 38	18 09
05 48	17 56	05 47	17 57	05 47	17 57	05 47	17 57
05 55	17 46	05 55	17 46	05 45	17 45	05 56	17 45
06 01	17 36	06 03	17 35	06 04	17 34	06 05	17 32
06 09	17 26	06 10	17 24	06 12	17 22	06 14	17 20
06 16	17 16	06 18	17 14	06 21	17 11	06 24	17 08
06 23	17 07	06 26	17 04	06 29	17 00	06 33	16 57
06 31	16 57	06 34	16 54	06 38	16 50	06 43	16 45
06 38	16 49	06 43	16 44	06 47	16 40	06 52	16 35
06 46	16 41	06 51	16 36	06 56	16 30	07 02	16 24
06 54	16 33	06 59	16 28	07 05	16 22	07 12	16 15
07 01	16 26	07 08	16 20	07 14	16 14	07 22	16 06
07 09	16 21	07 16	16 14	07 23	16 06	07 31	15 58
07 16	16 16	07 24	16 08	07 31	16 00	07 40	15 52
07 23	16 12	07 31	16 04	07 39	15 55	07 49	15 46
07 30	16 09	07 38	16 01	07 47	15 52	07 57	15 42
07 36	16 07	07 44	15 59	07 53	15 49	08 04	15 39
07 40	16 07	07 49	15 58	07 59	15 48	08 10	15 38
07 45	16 08	07 53	15 59	08 03	15 49	08 14	15 38
07 47	16 09	07 56	16 00	08 06	15 50	08 17	15 39
07 49	16 13	07 58	16 04	08 08	15 54	08 19	15 43
07 50	16 16	07 59	16 08	08 08	15 58	08 19	15 47

	56°		58°		60°		62°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Январь								
1	08ʰ31ᵐ	15ʰ36ᵐ	08ʰ46ᵐ	15ʰ22ᵐ	09ʰ02ᵐ	15ʰ05ᵐ	09ʰ23ᵐ	14ʰ44ᵐ
6	08 29	15 43	08 43	15 29	08 59	15 13	09 19	14 54
11	08 26	15 51	08 39	15 38	08 54	15 23	09 12	15 05
16	08 20	16 00	08 33	15 48	08 47	15 34	09 03	15 17
21	08 14	16 10	08 25	15 58	08 38	15 46	08 53	15 31
26	08 06	16 20	08 16	16 10	08 28	15 58	08 41	15 45
31	07 57	16 31	08 06	16 21	08 17	16 11	08 29	15 59
Февраль								
5	07 48	16 41	07 56	16 33	08 05	16 24	08 15	16 14
10	07 37	16 52	07 44	16 45	07 52	16 38	08 01	16 28
15	07 26	17 03	07 32	16 57	07 39	16 51	07 47	16 43
20	07 14	17 14	07 19	17 09	07 25	17 04	07 31	16 57
25	07 02	17 25	07 06	17 21	07 11	17 17	07 16	17 12
Март								
2	06 50	17 36	06 53	17 33	06 56	17 29	07 00	17 26
7	06 37	17 46	06 39	17 44	06 42	17 42	06 44	17 39
12	06 24	17 57	06 25	17 56	06 27	17 54	06 28	17 53
17	06 11	18 07	06 11	18 07	06 12	18 07	06 12	18 06
22	05 58	18 17	05 57	18 18	05 56	18 19	05 56	18 20
27	05 45	18 28	05 43	18 29	05 41	18 31	05 39	18 33
Апрель								
1	05 31	18 38	05 29	18 40	05 26	18 43	05 23	18 47
6	05 18	18 48	05 15	18 52	05 11	18 56	05 07	19 00
11	05 05	18 58	05 01	19 03	04 56	19 08	04 51	19 14
16	04 53	19 08	04 47	19 14	04 41	19 20	04 34	19 27
21	04 40	19 19	04 34	19 25	04 27	19 32	04 19	19 41
26	04 28	19 29	04 21	19 36	04 12	19 45	04 03	19 55
Май								
1	04 17	19 39	04 08	19 47	03 59	19 57	03 48	20 09
6	04 06	19 49	03 56	19 58	03 45	20 10	03 33	20 23
11	03 55	19 59	03 45	20 09	03 33	20 22	03 18	20 37
16	03 46	20 08	03 34	20 20	03 21	20 34	03 04	20 50
21	03 37	20 17	03 25	20 30	03 10	20 45	02 52	21 03
26	03 30	20 25	03 16	20 39	03 00	20 56	02 40	21 16
31	03 23	20 33	03 09	20 48	02 51	21 05	02 29	21 27
Июнь								
5	03 18	20 39	03 03	20 55	02 44	21 14	02 21	21 37
10	03 15	20 44	02 59	21 01	02 39	21 20	02 14	21 45
15	03 13	20 48	02 56	21 05	02 36	21 25	02 10	21 51
20	03 13	20 50	02 56	21 07	02 35	21 28	02 09	21 54
25	03 14	20 51	02 57	21 07	02 37	21 28	02 11	21 54
30	03 17	20 50	03 01	21 06	02 41	21 26	02 15	21 51

64°		66°		68°		70°	
Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
09^h50^m	14^h18^m	10^h28^m	13^h39^m	—	—	—	—
09 44	14 29	10 18	13 54	11^h23^m	12^h49^m	—	—
09 35	14 42	10 05	14 11	10 54	13 23	—	—
09 24	14 57	09 51	14 30	10 29	13 51	—	
09 11	15 12	09 35	14 49	10 06	14 17	10^h58^m	13^h26^m
08 58	15 28	09 18	15 08	09 44	14 42	10 22	14 04
08 43	15 45	09 01	15 28	09 23	15 06	09 52	14 36
08 28	16 01	08 43	15 47	09 01	15 28	09 25	15 05
08 12	16 18	08 25	16 05	08 40	15 50	08 59	15 31
07 56	16 34	08 06	16 24	08 19	16 11	08 35	15 55
07 39	16 50	07 48	16 41	07 58	16 31	08 11	16 19
07 22	17 06	07 29	16 59	07 37	16 51	07 47	16 41
07 05	17 21	07 10	17 16	07 16	17 10	07 24	17 03
06 48	17 36	06 51	17 33	06 55	17 29	07 01	17 24
06 30	17 51	06 32	17 49	06 35	17 47	06 37	17 44
06 12	18 06	06 13	18 06	06 14	18 05	06 14	18 05
05 55	18 21	05 54	18 22	05 53	18 23	05 51	18 25
05 37	18 36	05 35	18 38	05 31	18 42	05 28	18 46
05 19	18 50	05 15	18 55	05 10	19 00	05 04	19 06
05 02	19 05	04 56	19 11	04 49	19 18	04 41	19 27
04 44	19 20	04 37	19 28	04 28	19 37	04 17	19 48
04 26	19 35	04 17	19 45	04 06	19 57	03 52	20 11
04 09	19 51	03 58	20 02	03 44	20 17	03 27	20 34
03 52	20 06	03 38	20 20	03 21	20 37	03 00	20 59
03 34	20 22	03 18	20 39	02 59	20 59	02 32	21 26
03 17	20 38	02 59	20 57	02 35	21 22	02 02	21 57
03 01	20 54	02 39	21 17	02 10	21 47	01 25	22 35
02 45	21 11	02 19	21 37	01 43	22 15	00 26	+
02 29	21 26	01 59	21 58	01 11	22 49	+	+
02 14	21 42	01 38	22 19	00 21	+	+	+
02 01	21 57	01 17	22 42	+	+	+	+
01 49	22 10	00 55	23 06	+	+	+	+
01 39	22 21	00 29	23 36	+	+	+	+
01 33	22 29	+	+	+	+	+	+
01 31	22 32	+	+	+	+	+	+
01 33	22 32	+	+	+	+	+	+
01 39	22 27	+	23 53	+	+	+	+

	56°		58°		60°		62°	
	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
Июль								
5	03^h22^m	20^h47^m	03^h06^m	21^h02^m	02^h46^m	21^h22^m	02^h22^m	21^h46^m
10	03 27	20 42	03 12	20 57	02 54	21 15	02 31	21 38
15	03 34	20 37	03 20	20 51	03 03	21 08	02 42	21 28
20	03 42	20 29	03 29	20 43	03 13	20 58	02 54	21 17
25	03 50	20 21	03 38	20 33	03 24	20 48	03 06	21 05
30	04 00	20 12	03 48	20 23	03 35	20 36	03 20	20 51
Август								
4	04 09	20 02	03 56	20 12	03 47	20 24	03 33	20 37
9	04 19	19 51	04 09	20 00	03 59	20 10	03 47	20 22
14	04 28	19 40	04 20	19 48	04 11	19 57	04 00	20 07
19	04 38	19 28	04 31	19 35	04 23	19 43	04 14	19 52
24	04 48	19 16	04 42	19 21	04 35	19 28	04 27	19 36
29	04 58	19 03	04 53	19 08	04 47	19 13	04 41	19 20
Сентябрь								
3	05 08	18 50	05 03	18 54	04 59	18 58	04 54	19 03
8	05 17	18 37	05 14	18 40	05 11	18 43	05 07	18 47
13	05 27	18 24	05 25	18 26	05 22	18 28	05 20	18 31
18	05 37	18 10	05 36	18 12	05 34	18 13	05 32	15 14
23	05 47	17 57	05 46	17 57	05 46	17 58	05 45	17 58
28	05 56	17 44	05 57	17 43	05 58	17 42	05 58	17 42
Октябрь								
3	06 06	17 31	06 08	17 29	06 10	17 27	06 11	17 25
8	06 16	17 18	06 19	17 15	06 22	17 12	06 25	17 09
13	06 27	17 05	06 30	17 02	06 34	16 58	06 38	16 53
18	06 37	16 53	06 41	16 48	06 46	16 43	06 52	16 38
23	06 47	16 40	06 53	16 35	06 59	16 29	07 05	16 22
28	06 58	16 29	07 04	16 23	07 11	16 15	07 19	16 07
Ноябрь								
2	07 09	16 18	07 16	16 10	07 24	16 02	07 34	15 53
7	07 19	16 07	07 28	15 59	07 37	15 50	07 48	15 39
12	07 30	15 58	07 39	15 49	07 50	15 38	08 02	15 25
17	07 40	15 49	07 51	15 39	08 03	15 27	08 16	15 13
22	07 50	15 42	08 02	15 30	08 15	15 17	08 30	15 02
27	08 00	15 35	08 12	15 23	08 26	15 09	08 43	14 52
Декабрь								
2	08 08	15 30	08 21	15 17	08 37	15 02	08 55	14 43
7	08 16	15 27	08 30	15 13	08 46	14 57	09 06	14 37
12	08 22	15 25	08 36	15 11	08 54	14 54	09 14	14 33
17	08 27	15 25	08 42	15 11	08 59	14 53	09 21	14 32
22	08 29	15 26	08 44	15 11	09 02	14 54	09 23	14 32
27	08 32	15 31	08 46	15 16	09 04	14 59	09 25	14 37
31	08 32	15 35	08 46	15 20	09 03	15 03	09 24	14 42

— Солнце под горизонтом, + Солнце над горизонтом.

64°		66°		68°		70°	
Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.	Восх.	Зах.
01ʰ48ᵐ	22ʰ19ᵐ	00ʰ45ᵐ	23ʰ19ᵐ	+	+	+	+
02 01	22 08	01 11	22 56	+	+	+	+
02 14	21 55	01 34	22 34	+	+	+	+
02 29	21 41	01 56	22 14	00ʰ54ᵐ	23ʰ10ᵐ	+	+
02 45	21 26	02 16	21 53	01 33	22 34	+	+
03 01	21 10	02 36	21 33	02 03	22 05	01ʰ03ᵐ	23ʰ00ᵐ
03 17	20 53	02 56	21 13	02 29	21 40	01 48	22 18
03 32	20 36	03 15	20 54	02 52	21 15	02 21	21 45
03 48	20 19	03 33	20 34	03 14	20 52	02 50	21 16
04 03	20 02	03 50	20 14	03 35	20 30	03 15	20 49
04 18	19 45	04 07	19 55	03 55	20 07	03 39	20 23
04 33	19 27	04 24	19 35	04 11	19 46	04 01	19 58
04 48	19 09	04 41	19 16	04 32	19 24	04 22	19 34
05 02	18 52	04 57	18 57	04 51	19 03	04 43	19 10
05 16	18 34	05 13	18 37	05 08	18 41	05 03	18 46
05 31	18 16	05 29	18 18	05 26	18 20	05 23	18 23
05 45	17 58	05 44	17 59	05 44	17 59	05 43	18 00
05 59	17 41	06 00	17 40	06 01	17 38	06 02	17 37
06 14	17 23	06 16	17 21	06 19	17 17	06 22	17 14
06 28	17 06	06 32	17 01	06 37	16 57	06 43	16 51
06 43	16 48	06 49	16 43	06 55	16 36	07 03	16 27
06 58	16 31	07 05	16 24	07 14	16 15	07 25	16 04
07 13	16 14	07 22	16 05	07 33	15 54	07 47	15 41
07 29	15 58	07 40	15 47	07 53	15 33	08 10	15 16
07 45	15 41	07 58	15 28	08 14	15 12	08 35	14 51
08 01	15 26	08 16	15 10	08 36	14 51	09 01	14 26
08 17	15 11	08 35	14 52	08 58	14 29	09 29	13 58
08 33	14 56	08 54	14 35	09 21	14 08	10 02	13 27
08 49	14 43	09 13	14 19	09 46	13 45	10 43	12 48
09 04	14 31	09 32	14 03	10 12	13 22	—	—
09 18	14 20	09 50	13 49	10 41	12 57	—	—
09 31	14 12	10 06	13 36	11 18	12 25	—	—
09 41	14 06	10 20	13 27	—	—	—	—
09 49	14 03	10 30	13 22	—	—	—	—
09 52	14 04	10 35	13 21	—	—	—	—
09 53	14 09	10 35	13 28	—	—	—	—
09 51	14 15	10 30	13 36	—	—	—	—

Таблица 17б

Поправка K за начало года

(вводится в моменты времени при использовании таблицей 17а)

Год	K	Год	K	Год	K
1950	0^d,000	1985	$+0^d$,523	1993	$+0^d$,585
1960	+0,578	1986	+0,281	1994	+0,343
1970	+0,1560	1987	+0,039	1995	+0,101
1980	+0,734	1988	+0,796	1996	+0,859
1981	+0,492	1989	+0,554	1997	+0,617
1982	+0,250	1990	+0,312	1998	+0,374
1983	+0,007	1991	+0,070	1999	+0,132
1984	+0,765	1992	+0,828	2000	+0,890

Таблица 17в

Таблица поправок за долготу от Гринвича

(Поправка вводится в дату при интерполировании данных табл. 17а)

Вост. долг	Поправка	Вост. долг.	Поправка	Вост. долг.	Поправка
2°	-0^d,01	65°	-0^d,18	125°	-0^d,35
10	—0,03	70	—0,19	130	—0,36
15	—0,04	75	—0,21	135	—0,38
20	—0,06	80	—0,22	140	—0,39
25	—0,07	85	—0,24	145	—0,40
30	—0,08	90	—0,25	150	—0,42
35	—0,10	95	—0,26	155	—0,43
40	—0,11	100	—0,28	160	—0,44
45	—0,12	105	—0,29	165	—0,46
50	—0,14	110	—0,31	170	—0,47
55	—0,15	115	—0,32	175	—0,49
60	—0,17	120	—0,33	180	—0,50

Для западной долготы поправка имеет обратный знак.

Таблица 18

Часовые углы восхода и захода с поправкой за рефракцию для $\varphi = 56°$ и δ от $+30°$ до $-30°$

Для других широт от 40 до 64° часовой угол t находится вычетом из значения t для $\varphi = 56°$ соответствующей поправки по табл. 19.

δ	t	δ	t	δ	t	δ	t
+30°	$10^h\ 5^m$	+14°	7^h31^m	0°	$6^h\ 4^m$	—16°	4^h24^m
+28	9 36	+12	7 18	—2	5 52	—18	4 10
+26	9 12	+10	7 5	—4	5 40	—20	3 55
+24	8 51	+8	6 52	—6	5 28	—22	3 38
+22	8 33	+6	6 40	—8	5 16	—24	3 21
+20	8 16	+4	6 28	—10	5 4	—26	3 1
+18	8 0	+2	6 16	—12	4 51	—28	2 39
+16	7 45	0	6 4	—14	4 38	—30	2 14

Таблица 19

Поправки на восход и заход планет

Поправки даны для момента восхода; для захода следует изменить знак поправки на обратный

δ \ φ	40°	42°	44°	46°	48°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°
+30°	+125^m	+116^m	+105^m	+93^m	+80^m	+65^m	+48^m	+27^m	0^m	−39^m	—	—	—
28	106	97	88	78	66	53	38	21	0	27	−67^m	—	—
26	92	84	76	66	56	45	32	17	0	21	49	−89^m	—
24	80	73	66	57	48	38	27	15	0	17	39	66	−108^m
22	70	64	57	50	42	33	23	13	0	14	32	54	81
20	61	56	50	44	36	29	20	11	0	12	27	45	66
18	54	49	43	38	32	25	17	9	0	11	23	38	55
16	47	42	38	33	27	21	15	8	0	9	19	32	46
14	40	36	32	28	23	18	13	7	0	8	16	26	38
12	34	31	27	24	20	16	11	6	0	6	13	21	31
10	28	25	22	19	16	13	9	5	0	5	11	17	26
8	22	20	18	15	13	10	7	4	0	4	9	14	21
6	17	15	14	12	10	8	5	3	0	3	7	11	16
4	11	10	9	8	7	5	4	2	0	2	5	8	11
+2	6	6	5	4	4	3	+2	+1	0	−1	3	4	6
0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0	0	0	0	−1	−1	−2
−2	−4	−4	−3	−3	−2	−2	−1	−1	0	+1	+2	+2	+3
4	9	8	7	6	5	4	3	2	0	2	4	6	8
6	14	13	12	10	8	6	4	2	0	3	6	9	13
8	20	18	16	14	11	9	6	3	0	4	8	13	18
10	25	23	20	18	15	11	8	4	0	5	10	16	23
12	31	28	25	26	18	14	10	5	0	6	12	20	28
14	37	34	30	22	22	17	12	6	0	7	15	24	35
16	43	39	35	30	25	20	14	7	0	8	18	29	42
18	50	46	41	35	29	23	16	9	0	10	21	34	50
20	58	52	47	41	34	27	19	10	0	11	25	41	60
22	66	60	54	47	39	31	22	12	0	13	29	49	73
24	75	68	61	54	45	36	25	14	0	16	35	57	90
26	86	78	70	62	52	41	29	16	0	19	43	74	+129
28	98	90	81	71	61	48	35	19	0	23	55	+109	—
−30	−115	−105	−95	−84	−72	−58	−42	−23	0	+31	+84	—	—

Таблица 20

Стандартное поглощение света в земной атмосфере

(даты разности поглощений при z и в зените)

Видимое зенитное расстояние, z	Масса воздуха, $F(z)$	Разность поглощений в визуальных лучах	Разность поглощений в фотографических лучах	Видимое зенитное расстояние, z	Масса воздуха, $F(z)$	Разность поглощений в визуальных лучах	Разность поглощений в фотографических лучах
0°	1,00	$0^m,00$	$0^m,00$	80°,0	5,60	$0^m,90$	$1^m,81$
10	1,015	0,00	0,01	80,5	5,87	0,95	1,92
20	1,064	0,01	0,03	81,0	6,18	1,01	2,03
30	1,154	0,03	0,06	81,2	6,31	1,04	2,08
40	1,304	0,06	0,12	81,4	6,44	1,07	2,14
45	1,413	0,08	0,17	81,6	6,58	1,09	2,19
50	1,553	0,11	0,22	81,8	6,73	1,12	2,24
55	1,742	0,14	0,30	82,0	6,88	1,15	2,30
60	1,995	0,20	0,40	82,2	7,04	1,18	2,36
62	2,123	0,22	0,45	82,4	7,21	1,22	2,42
64	2,274	0,25	0,51	82,6	7,39	1,25	2,49
66	2,447	0,28	0,58	82,8	7,57	1,29	2,55
68	2,654	0,32	0,66	83,0	7,77	1,32	2,63
70	2,904	0,37	0,76	83,2	7,97	1,36	2,71
71	3,05	0,40	0,82	83,4	8,19	1,41	2,79
72	3,209	0,43	0,88	83,6	8,41	1,45	2,87
73	3,388	0,47	0,95	83,8	8,65	1,50	2,95
74	3,588	0,51	1,03	84,0	8,90	1,55	3,05
75	3,816	0,55	1,12	84,2	9,17	1,60	(3,15)
76	4,075	0,60	1,22	84,4	9,45	1,65	(3,24)
77	4,372	0,66	1,34	84,6	9,74	1,71	(3,36)
78	4,716	0,73	1,47	84,8	10,06	1,77	(3,48)
79	5,120	0,81	1,63	85,0	10,40	1,84	(3,62)

Примечание. Разность поглощений в данном направлении и в зените для визуальных лучей дана по Бемпораду и основана на коэффициенте прозрачности $p = 0,835$. Данные приведены для $t = 0°$ и давления 760 мм = 1013 гПа. При давлении B мм (B'гПа) разность поглощений равна табличной, умноженной на B мм/760 мм (B' гПа/1013 гПа).

Поглощение в фотографических лучах дано по Вирцу для тех же условий.

Для любого другого значения p поправка за поглощение вычисляется по формуле

$$\Delta m_z = \Delta m_0 - 2,5 \lg p\,[F(z) - 1],$$

где $F(z)$ — масса воздуха, проходимого лучом, выраженная в единицах массы воздуха в направлении на зенит, а $\Delta m_0 = 0^m,21$ для визуальных и $0^m,44$ для фотографических лучей.

Таблица 21 (см. вкладку)

Продолжительность гражданских сумерек на различных широтах от 0 до +70°

(для южной широты дату надо изменить на 6 месяцев вперед или назад)

Знак «—» означает, что сумерки длятся всю ночь, знак «▭» означает непрерывный день. Для высоких широт продолжительность сумерек можно получить по графику рис. 195.

Широта	0°	10°	20°	30°	35°	40°	45°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°	66°	68°	70°
Январь 1	24^{m}	24^{m}	25^{m}	27^{m}	29^{m}	31^{m}	35^{m}	39^{m}	42^{m}	44^{m}	49^{m}	52^{m}	59^{m}	$1^{h}04^{m}$	$1^{h}15^{m}$	$1^{h}35^{m}$	$2^{h}47^{m}$	$2^{h}14^{m}$
15	23	23	25	27	29	31	34	38	40	43	47	50	55	0 59	1 07	1 19	1 40	2 52
Февраль 1	22	23	24	26	28	30	32	37	39	41	43	46	50	0 53	0 57	1 03	1 13	1 26
15	22	23	24	26	27	29	31	35	37	39	40	42	46	0 48	0 51	0 56	1 02	1 09
Март 1	22	22	23	25	26	28	31	34	36	38	39	41	44	0 46	0 48	0 52	0 57	1 02
15	22	22	23	25	26	28	30	34	35	37	38	40	43	0 45	0 47	0 51	0 56	1 01
Апрель 1	22	22	23	25	27	28	31	34	36	37	40	41	44	0 46	0 50	0 54	1 00	1 07
15	22	22	24	26	27	29	32	35	38	39	41	44	48	0 50	0 55	1 02	1 10	1 23
Май 1	23	23	24	26	28	30	34	38	40	43	46	50	56	1 00	1 09	1 24	1 56	—
15	23	23	25	27	29	32	35	41	43	47	51	57	$1^{h}05$	1 17	1 42	—	—	—
Июнь 1	23	24	25	27	30	33	37	42	47	52	59	$1^{h}09$	1 25	—	—	—	▭	▭
15	23	24	26	29	31	34	38	45	50	56	$1^{h}03$	1 16	1 45	—	—	▭	▭	▭
Июль 1	23	23	25	28	31	34	38	45	49	54	1 02	1 15	1 40	—	—	—	▭	▭
15	23	23	26	27	30	33	37	43	46	51	57	1 05	1 20	1 49	—	—	▭	▭
Август 1	22	23	24	27	29	31	35	40	42	45	49	55	1 01	1 50	1 27	2 17	—	—
15	22	23	24	26	27	30	33	37	39	41	44	48	52	0 57	1 04	1 15	1 33	2 28
Сентябрь 1	22	22	23	25	27	29	31	35	36	38	40	43	45	0 48	0 53	0 58	1 05	1 15
15	22	22	23	24	26	28	30	33	35	36	39	41	43	0 45	0 49	0 53	0 58	1 04
Октябрь 1	22	22	23	25	26	27	30	33	34	36	38	40	42	0 44	0 47	0 51	0 55	1 00
15	22	22	23	25	26	27	31	34	35	37	38	40	43	0 45	0 48	0 52	0 57	1 03
Ноябрь 1	22	22	24	25	26	29	32	35	36	38	40	42	46	0 49	0 53	0 58	1 05	1 14
15	22	22	24	26	27	30	33	37	38	40	43	46	50	0 54	1 00	1 07	1 19	1 37
Декабрь 1	23	23	25	27	29	31	34	38	40	43	46	50	55	1 01	1 10	1 24	1 52	2 38
15	23	24	25	27	29	32	35	39	42	45	49	53	59	1 05	1 17	1 39	2 42	2 08

Таблица 22

Продолжительность астрономических сумерек на различных широтах от 0 до +70°

(для южной широты дату надо изменить на 6 месяцев вперед или назад)

Знак «—» означает, что сумерки длятся всю ночь, знак «▭» означает непрерывный день (табличные данные прибавлять к числу часов сверху). Для высоких широт продолжительность сумерек можно получить по графику рис. 195.

Широта		0°	10°	20°	30°	35°	40°	45°	50°	52°	54°	56°	58°	60°	62°	64°	66°	68°	70°
		$1^{h}+$	$1^{h}+$	$1^{h}+$	$1^{h}+$	$1^{h}+$	$1^{h}+$	$1^{h}+$	$1^{h}+$	$1^{h}+$	$2^{h}+$	$2^{h}+$	$2^{h}+$	$2^{h}+$	$2^{h}+$	$2^{h}+$	$2^{h}+$	$3^{h}+$	$3^{h}+$
Январь	1	16^{m}	17^{m}	19^{m}	26^{m}	31^{m}	38^{m}	47^{m}	$1^{h}00^{m}$	$1^{h}06^{m}$	14^{m}	23^{m}	34^{m}	46^{m}	$1^{h}00^{m}$	$1^{h}22^{m}$	$1^{h}55^{m}$	$2^{h}25^{m}$	$2^{h}18^{m}$
	15	15	15	18	25	30	37	45	57	1 03	10	19	28	39	51	1 08	1 32	1 08	2 39
Февраль	1	13	14	17	23	28	34	42	53	58	4	11	19	28	38	0 51	1 07	0 28	0 56
	15	11	12	15	22	26	32	40	50	56	0	8	15	23	31	0 42	0 55	0 12	0 32
Март	1	10	11	14	21	25	31	39	49	54	—1	5	12	20	29	0 40	0 53	0 9	0 29
	15	10	11	14	21	25	31	38	50	56	0	7	15	24	34	0 47	1 02	0 22	0 49
Апрель	1	10	11	14	21	27	34	43	55	1 02	9	18	28	40	56	1 19	1 56	—	—
	15	11	12	17	24	30	38	50	1 04	1 13	23	35	52	1 18	2 25	—	—	—	—
Май	1	12	14	18	28	34	45	59	1 21	1 34	52	86	—	—	—	—	—	—	—
	15	14	16	21	32	40	52	$1^{h}10$	1 45	2 15	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭
Июнь	1	15	18	24	34	45	$1^{h}00$	1 24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭
	15	16	19	25	37	48	1 04	1 34	—	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭	▭
Июль	1	16	18	25	37	47	1 03	1 32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▭	▭
	15	15	17	23	34	44	58	1 21	2 02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	▭
Август	1	13	15	21	31	39	50	1 07	1 37	2 00	1 49	—	—	—	—	—	—	—	—
	15	12	14	18	27	34	43	57	1 16	1 28	45	1 05	1 59	—	—	—	—	—	—
Сентябрь	1	10	12	16	23	29	36	46	1 00	1 08	16	27	43	1 00	85	—	—	—	—
	15	10	11	15	21	26	33	41	53	1 02	6	13	24	35	46	1 06	1 28	1 08	—
Октябрь	1	10	11	14	20	25	31	39	50	54	0	6	14	22	31	0 43	0 58	0 16	0 39
	15	10	12	15	21	25	31	39	48	53	—1	5	12	20	28	0 39	0 52	0 7	0 26
Ноябрь	1	11	13	15	22	26	33	40	51	56	0	8	15	24	33	0 44	0 59	0 16	0 38
	15	13	14	17	24	28	35	43	54	59	5	13	22	31	41	0 56	1 13	37	1 12
Декабрь	1	15	16	18	25	31	37	46	58	1 04	11	19	29	41	54	1 13	1 39	1 23	2 31
	15	16	18	20	26	32	39	48	1 00	1 07	15	24	34	47	1 02	1 25	2 00	2 22	2 14

Разность географической и геоцентрической широт φ—φ′ и отношение радиуса-вектора на широте φ к экваториальному радиусу Земли ρ/a

$$\varphi-\varphi' = 692{,}743 \sin 2\varphi - 1'',163 \sin 4\varphi + 0'',003 \sin 6\varphi,$$
$$\rho/a = 0{,}99832707 + 0{,}00167664 \cos 2\varphi - 0{,}00000352 \cos 4\varphi.$$

φ	φ—φ′	ρ/a	φ	φ—φ′	ρ/a	φ	φ—φ′	ρ/a
35°	10′ 50″,2215	0,99890	50°	11′ 22,″ 6085	0,99804	65°	8′ 51″,7880	0,99725
36	10 58,1825	0,99885	51	11 18,0425	0,99798	66	8 35,9357	0,99721
37	11 05,3156	0,99879	52	11 12,7123	0,99792	67	8 19,4543	0,99716
38	11 11,6203	0,99874	53	11 06,5481	0,99787	68	8 11,0031	0,99712
39	11 17,0965	0,99868	54	10 59,5497	0,99781	69	7 44,6734	0,99708
40	11 21,8130	0,99862	55	10 51,7167	0,99776	70	7 26,4405	0,99704
41	11 25,7001	0,99856	56	10 43,1180	0,99770	71	7 07,6531	0,99700
42	11 28,6883	0,99851	57	10 33,6840	0,99765	72	6 48,3033	0,99697
43	11 30,9156	0,99845	58	10 23,5532	0,99759	73	6 28,4632	0,99694
44	11 32,2432	0,99839	59	10 12,5866	0,99754	74	6 08,1328	0,99690
45	11 32,7400	0,99833	60	10 00,9226	0,99749	75	5 47,3817	0,99687
46	11 32,4055	0,99827	61	9 48,4917	0,99744	76	5 26,2099	0,99684
47	11 31,2394	0,99821	62	9 35,3629	0,99739	77	5 04,6179	0,99682
48	11 29,1718	0,99816	63	9 21,5361	0,99734	78	4 42,6057	0,99679
49	11 26,3412	0,99810	64	9 07,0112	0,99730	79	4 20,3122	0,99677
50	11 22,6085	0,99804	65	8 51,7880	0,99725	80	3 57,6683	0,99675

Таблица 24

Названия и обозначения созвездий

В таблице даны: 1) русские названия, 2) латинские названия, 3) положение (созвездия, лежащие целиком или большей частью к северу от +35° склонения, обозначены буквой N, южнее —35° склонения обозначены буквой S), 4) родительный падеж (для наименования звезд созвездия), 5) международное сокращенное трехбуквенное обозначение, 6) площадь созвездия в квадратных градусах, 7) число звезд ярче $6^m{,}0$.

Русское название	Латинское название	Положение	Родительный падеж	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звезд ярче $6^m{,}0$
Андромеда . . .	Andrómeda	N	Andromedae	And	721	100
Близнецы . . .	Gémini		Geminorum	Gem	514	70
Большая Медведица . . .	Úrsa Májor	N	Ursae Majoris	UMa	1279	125
Большой Пес . .	Cánis Májor		Canis Majoris	CMa	380	80
Весы	Líbra		Librae	Lib	538	50
Водолей	Aquárius		Aquarii	Aqr	980	90
Возничий . . .	Áuriga	N	Aurigae	Aur	657	90
Волк	Lúpus	S	Lupi	Lup	334	70
Волопас	Boótes		Bootis	Boo	905	90
Волосы [Береники] . . .	Cóma [Berenices]		[Comae Berenicis]	Com	386	50

Русское название	Латинское название	Положение	Родительный падеж	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звезд ярче $6^m,0$
Ворон	Córvus		Corvi	Crv	184	15
Геркулес . . .	Hércules		Herculis	Her	1225	140
Гидра	Hýdra		Hydrae	Hya	1303	130
Голубь	Colúmba	S	Columbae	Col	270	40
Гончие Псы . .	Cánes Venátici	N	Canum Venaticorum	CVn	467	30
Дева	Virgo		Virginis	Vir	1294	95
Дельфин . . .	Delphínus		Delphini	Del	189	30
Дракон	Dráco	N	Draconis	Dra	1083	80
Единорог . . .	Monocéros	S	Monocerotis	Mon	481	85
Жертвенник . .	Ára	S	Arae	Ara	237	30
Живописец . .	Pictor	S	Pictoris	Pic	247	30
Жираф	Camelopardális	N	Camelopardalis	Cam	756	50
Журавль . . .	Grus	S	Guis	Gru	365	30
Заяц	Lépus		Leporis	Lep	290	40
Змееносец (Офиух) . . .	(Serpentárius) Ophiúchus		Ophiuchi	Oph	948	100
Змея	Sérpens		Serpentis	Ser	637	60
Золотая Рыба	Dorádo	S	Doradus	Dor	179	20
Индеец	Índus	S	Indi	Ind	294	20
Кассиопея . . .	Cassiopéja	N	Cassiopejae	Cas	599	90
Кентавр	Centáurus	S	Centauri	Cen	1060	150
Киль	Cárina	S	Carinae	Car	494	110
Кит	Cétus		Ceti	Cet	1231	100
Козерог	Capricórnus		Capricorni	Cap	414	50
Компас	Pýxis		Pyxidis	Pyx	221	25
Корма	Púppis		Puppis	Pup	673	140
Лебедь	Cýgnus	N	Cygni	Cyg	805	150
Лев	Léo (Major)	N	Leonis	Leo	947	70
Летучая Рыба	Vólans	S	Volantis	Vol	141	20
Лира	Lýra	N	Lyrae	Lyr	285	45
Лисичка	Vulpécula		Vulpeculae	Vul	268	45
Малая Медведица	Úrsa Minor	N	Ursae Minoris	UMi	256	20
Малый Конь . .	Equuléus		Equulei	Equ	72	10
Малый Лев . .	Léo Minor		Leonis Minoris	LMi	232	20
Малый Пес . . .	Canis Minor		Canis Minoris	CMi	183	20
Микроскоп . .	Microscópium		Microscopii	Mic	209	20
Муха	Músca	S	Muscae	Mus	138	30
Насос	Ántlia	S	Antliae	Ant	239	20
Наугольник . .	Nórma	S	Normae	Nor	165	20
Овен	Áries	S	Arietis	Ari	441	50

Русское название	Латинское название	Положение	Родительный падеж	Обозначение	Площадь в квадратных градусах	Число звезд ярче $6^m,0$
Октант . . .	Octáns		Octantis	Oct	292	35
Орел	Áquila		Aquilae	Aql	653	70
Орион	Orion		Orionis	Ori	594	120
Павлин	Pávo		Pavonis	Pav	377	45
Паруса . . .	Vela	S	Velorum	Vel	500	110
Пегас	Pegásus		Pegasi	Peg	1136	100
Персей	Perséus	N	Persei	Per	615	90
Печь	Fórnax		Fornacis	For	397	35
Райская Птица	Ápus		Apodis	Aps	206	20
Рак	Cáncer		Cancri	Cnc	506	60
Резец	Cáelum		Caeli	Cae	125	10
Рыбы	Písces		Piscium	Psc	890	75
Рысь	Lynx	N	Lyncis	Lyn	545	60
Северная Корона	Coróna Boreális	N	Coronae Borealis	CrB	179	20
Секстант . . .	Séxtans		Sextantis	Sex	313	25
Сетка	Retículum		Reticuli	Ret	114	15
Скорпион . . .	Scórpius		Scorpii	Sco	497	100
Скульптор . . .	Scúlptor		Sculptoris	Scl	475	30
Столовая Гора	Ménsa		Mensae	Men	153	15
Стрела	Sagítta		Sagittae	Sge	80	20
Стрелец	Sagittárius		Sagittarii	Sgr	867	115
Телескоп	Telescópium	S	Telescopii	Tel	251	30
Телец	Táurus		Tauri	Tau	797	125
Треугольник . .	Triángulum		Trianguli	Tri	132	15
Тукан	Tucána	S	Tucanae	Tuc	294	25
Феникс	Phóenix	S	Phoenicis	Phe	469	40
Хамелеон . . .	Chamáeleon	S	Chamaeleontis	Cha	131	20
Цефей	Cephéus	N	Cephei	Cep	588	60
Циркуль . . .	Circínus	S	Circini	Cir	93	20
Часы	Horológium	S	Horologii	Hor	249	20
Чаша	Cráter		Crateris	Crt	282	20
Щит [Собеского]	Scútum [Sobiénsis]		Scuti	Sct	109	20
Эридан	Eridánus		Eridani	Eri	1138	100
Южная Гидра .	Hýdrus	S	Hydri	Hyi	243	20
Южная Корона	Coróna Austrális	S	Coronae Australis	CrA	128	25
Южная Рыба	Píscis Austrínus		Piscis Austrini	PsA	245	25
Южный Крест	Crux	S	Crucis	Cru	68	30
Южный Треугольник . . .	Triángulum Austrále	S	Trianguli Australis	Tra	109	20
Ящерица . . .	Lacérta	N	Lacertae	Lac	201	35

Для северного склонения		+80°	+75°	+70°	+65°	+60°	+55°	+50°	+45°
		s	s	s	s	s	s	s	s
0^h00^m	12^h00^m	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
0 20	11 40	3,73	3,50	3,39	3,32	3,27	3,24	3,21	3,19
0 40	11 20	4,39	3,94	3,71	3,57	3,47	3,40	3,35	3,30
1 00	11 00	5,04	4,36	4,02	3,81	3,67	3,57	3,48	3,42
1 20	10 40	5,66	4,74	4,33	4,05	3,86	3,72	3,62	3,53
1 40	10 20	6,27	5,18	4,62	4,28	4,05	3,88	3,74	3,64
2 00	10 00	6,86	5,56	4,91	4,50	4,23	4,03	3,87	3,74
2 20	9 40	7,42	5,93	5,18	4,71	4,40	4,17	3,98	3,84
2 40	9 20	7,93	6,28	5,43	4,91	4,56	4,30	4,09	3,93
3 00	9 00	8,43	6,60	5,66	5,10	4,71	4,42	4,20	4,02
3 20	8 40	8,88	6,90	5,88	5,27	4,84	4,53	4,29	4,10
3 40	8 20	9,28	7,16	6,08	5,42	4,97	4,63	4,38	4,17
4 00	8 00	9,64	7,39	6,25	5,55	5,08	4,72	4,45	4,23
4 20	7 40	9,94	7,59	6,40	5,67	5,17	4,80	4,51	4,28
4 40	7 20	10,19	7,76	6,52	5,76	5,25	4,86	4,57	4,32
5 00	7 00	10,39	7,89	6,62	5,84	5,31	4,91	4,61	4,36
5 20	6 40	10,53	7,98	6,69	5,90	5,35	4,95	4,64	4,39
5 40	6 20	10,62	8,03	6,73	5,93	5,38	4,97	4,66	4,40
6 00	6 00	10,65	8,06	6,74	5,94	5,39	4,98	4,67	4,41
12 00	24 00	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07
12 20	23 40	2,41	2,63	2,75	2,82	2,87	2,90	2,93	2,96
12 40	23 20	1,75	2,20	2,43	2,57	2,67	2,74	2,80	2,84
13 00	23 00	1,10	1,78	2,12	2,33	2,47	2,58	2,66	2,72
13 20	22 40	0,48	1,37	1,81	2,09	2,28	2,42	2,53	2,61
13 40	22 20	−0,13	0,96	1,52	1,86	2,09	2,26	2,40	2,50
14 00	22 00	−0,72	0,58	1,23	1,64	1,92	2,12	2,28	2,40
14 20	21 40	−1,28	0,21	0,96	1,43	1,75	1,98	2,16	2,30
14 40	21 20	−1,79	−0,14	0,71	1,23	1,58	1,84	2,05	2,20
15 00	21 00	−2,29	−0,48	0,47	1,04	1,44	1,72	1,95	2,13
15 20	20 40	−2,74	−0,75	0,26	0,87	1,30	1,61	1,85	2,03
15 40	20 20	−3,14	−1,02	0,06	0,72	1,18	1,51	1,77	1,98
16 00	20 00	−3,49	−1,25	−0,11	0,59	1,07	1,42	1,69	1,91
16 20	19 40	−3,80	−1,45	−0,26	0,47	0,97	1,34	1,63	1,86
16 40	19 20	−4,05	−1,62	−0,38	0,38	0,90	1,28	1,56	1,80
17 00	19 00	−4,25	−1,75	−0,48	0,30	0,84	1,23	1,53	1,78
17 20	18 40	−4,39	−1,84	−0,55	0,24	0,79	1,19	1,50	1,76
17 40	18 20	−4,48	−1,89	−0,59	0,21	0,77	1,17	1,49	1,74
18 00	18 00	−4,51	−1,92	−0,60	0,20	0,76	1,16	1,48	1,73
α_c / $\delta_ю$		−80°	−75°	−70°	−65°	−60°	−55°	−50°	−45°

мому восхождению (P_α)

Таблица 25а

+40°	+35°	+30°	+25°	+20°	+15°	+10°	+5°	0°	$\delta_с$ / $\alpha_ю$	
s	s	s	s	s	s	s	s	s		
3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	12^h00^m	24^h00^m
3,17	3,15	3,14	3,12	3,11	3,10	3,09	3,08	3,07	12 20	23 40
3,26	3,25	3,21	3,18	3,16	3,14	3,11	3,09	3,07	12 40	23 20
3,36	3,31	3,27	3,23	3,20	3,16	3,13	3,10	3,07	13 00	23 00
3,45	3,39	3,34	3,28	3,24	3,20	3,15	3,11	3,07	13 20	22 40
3,55	3,47	3,40	3,33	3,28	3,22	3,17	3,12	3,07	13 40	22 20
3,63	3,54	3,46	3,38	3,32	3,25	3,19	3,13	3,07	14 00	22 00
3,71	3,61	3,52	3,41	3,35	3,28	3,21	3,14	3,07	14 20	21 40
3,79	3,67	3,57	3,45	3,39	3,30	3,22	3,15	3,07	14 40	21 20
3,86	3,73	3,62	3,49	3,42	3,33	3,23	3,15	3,07	15 00	21 00
3,93	3,79	3,66	3,53	3,44	3,35	3,25	3,16	3,07	15 20	20 40
3,99	3,84	3,70	3,57	3,47	3,37	3,26	3,17	3,07	15 40	20 20
4,04	3,88	3,74	3,60	3,49	3,38	3,28	3,17	3,07	16 00	20 00
4,09	3,92	3,77	3,62	3,51	3,40	3,29	3,18	3,07	16 20	19 40
4,12	3,95	3,80	3,65	3,53	3,41	3,29	3,18	3,07	16 40	19 20
4,15	3,98	3,82	3,67	3,54	3,42	3,30	3,18	3,07	17 00	19 00
4,18	3,99	3,83	3,68	3,55	3,42	3,30	3,19	3,07	17 20	18 40
4,19	4,00	3,84	3,69	3,56	3,43	3,31	3,19	3,07	17 40	18 20
4,19	4,01	3,84	3,70	3,56	3,43	3,31	3,19	3,07	18 00	18 00
3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	3,07	0 00	12 00
2,98	2,99	3,01	3,02	3,03	3,04	3,05	3,06	3,07	0 20	11 40
2,88	2,91	2,94	2,96	2,99	3,01	3,03	3,05	3,07	0 40	11 20
2,78	2,83	2,87	2,91	2,95	2,98	3,01	3,04	3,07	1 00	11 00
2,69	2,75	2,81	2,86	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	1 20	10 40
2,60	2,67	2,75	2,81	2,87	2,92	2,97	3,02	3,07	1 40	10 20
2,51	2,60	2,69	2,76	2,83	2,89	2,96	3,04	3,07	2 00	10 00
2,43	2,53	2,63	2,71	2,79	2,87	2,94	3,00	3,07	2 20	9 40
2,35	2,47	2,58	2,67	2,76	2,84	2,92	3,00	3,07	2 40	9 20
2,28	2,41	2,53	2,63	2,73	2,82	2,91	2,99	3,07	3 00	9 00
2,21	2,35	2,48	2,59	2,70	2,80	2,89	2,98	3,07	3 20	8 40
2,15	2,30	2,44	2,56	2,67	2,78	2,88	2,97	3,07	3 40	8 20
2,10	2,26	2,40	2,53	2,65	2,76	2,87	2,97	3,07	4 00	8 00
2,06	2,22	2,367	2,50	2,63	2,75	2,86	2,97	3,07	4 20	7 40
2,02	2,19	2,35	2,49	2,62	2,73	2,85	2,96	3,07	4 40	7 20
1,99	2,16	2,33	2,47	2,60	2,73	2,85	2,96	3,07	5 00	7 00
1,97	2,15	2,31	2,46	2,59	2,72	2,84	2,96	3,07	5 20	6 40
1,96	2,14	2,30	2,45	2,58	2,72	2,84	2,95	3,07	5 40	6 20
1,95	2,13	2,30	2,45	2,58	2,71	2,83	2,95	3,07	6 00	6 00
−40°	−35°	−30°	−25°	−20°	−15°	−10°	−5°	0°	Для южного склонения	

Годовая прецессия по склонению (P_δ)

α	0^m	10^m	20^m	30^m	40^m	50^m	60^m	α
0^h	+20″,0	+20″,0	+20″,0	+19″,9	+19″,7	+19″,6	+19″,4	0^h
1	+19,4	+19,1	+18,8	+18,5	+18,2	+17,8	+17,4	1
2	+17,4	+16,9	+16,4	+15,9	+15,4	+14,8	+14,2	2
3	+14,2	+13,5	+12,9	+12,2	+11,5	+10,8	+10,0	3
4	+10,0	+9,3	+8,5	+7,7	+6,9	+6,0	+5,2	4
5	+5,2	+4,3	+3,5	+2,6	+1,7	+0,9	0,0	5
6	0,0	−0,9	−1,7	−2,6	−3,5	−4,3	−5,2	6
7	−5,2	−6,0	−6,9	−7,7	−8,5	−9,3	−10,0	7
8	−10,0	−10,8	−11,5	−12,2	−12,9	−13,5	−14,2	8
9	−14,2	−14,8	−15,4	−15,9	−16,4	−16,9	−17,4	9
10	−17,4	−17,8	−18,2	−18,5	−18,8	−19,1	−19,4	10
11	−19,4	−19,6	−19,7	−19,9	−20,0	−20,0	−20,0	11
12	−20,0	−20,0	−20,0	−19,9	−19,7	−19,6	−19,4	12
13	−19,4	−19,1	−18,8	−18,5	−18,2	−17,8	−17,4	13
14	−17,4	−16,9	−16,4	−15,9	−15,4	−14,8	−14,2	14
15	−14,2	−13,5	−12,9	−12,2	−11,5	−10,8	−10,0	15
16	−10,0	−9,3	−8,5	−7,7	−6,9	−6,0	−5,2	16
17	−5,2	−4,3	−3,5	−2,6	−1,7	−0,9	0,0	17
18	0,0	+0,9	+1,7	+2,6	+3,5	+4,3	+5,2	18
19	+5,2	+6,0	+6,9	+7,7	+8,5	+9,3	+10,0	19
20	+10,0	+10,8	+11,4	+12,2	+12,9	+13,5	+14,2	20
21	+14,2	+14,8	+15,4	+15,9	+16,4	+16,9	+17,4	21
22	+17,4	+17,8	+18,2	+18,5	+18,8	+19,1	+19,4	22
23	+19,4	+19,6	+19,7	+19,9	+20,0	+20,0	+20,0	23
24	+20,0	+20,0	+20,0	+19,9	+19,7	+19,6	+19,4	24

Таблица 26

Названия некоторых ярких звезд

Адáра	ε CMa	Атлáс	27 Tau	Мирáк	ε Boo
Акрáб	β Sco	Ахернáр	α Eri	Мирáх	β And
Аларáф	β Vir	Беллатрúкс	γ Ori	Мирзáм	β CMa
Алгéйба	γ Leo	Бенетнáш	η UMa	Мирфáк	α Per
Алгóль	β Per	Бетельгéйзе	α Ori	Мицáр	ζ_1 UMa
Алгорáб	δ Crv	Вéга	α Lyr	Нат	β Tau
Алиóт	ε UMa	Гéмма	α CrB	Плейóна	28 Tau
Алкáйд	η UMa	Денéб	α Cyg	Пóллукс	β Gem
Алкúба	α Crv	Денебóла	β Leo	Полярная	α UMi
Алнилáм	ε Ori	Дýбхе	α UMa	Прóцион	α CMi
Алрай	γ Cep	Зóсма	δ Leo	Рéгул	α Leo
Алфард	α Hya	Канóпус	α Car	Рúгель	β Ori
Алфирк	β Cen	Капéлла	α Aur	Сúриус	α CMa
Алхéна	γ Gem	Кáстор	α Gem	Сúррах	α And
Альбирéо	β Cyg	Кáффа	δ UMi	Спúка	α Vir
Альгенúб	γ Peg	Кохáб	β UMi	Тайгéта	19 Tau
Альдерамúн	α Cep	Мáйя	20 Tau	Толимáн	α Cen
Алькóр	80 UMa	Макрáб	α Peg	Тýбан	α Dra
Альмáк	γ And	Мекáб	α Cet	Фéкда	γ UMa
Альтаúр	α Aql	Менкалинан	β Aur	Феркáд	γ UMi
Альферáц	α And	Мерáк	β UMa	Фомальгáут	α PsA
Альцинóна	η Tau	Мерóпа	23 Tau	Хамáль	α Ari
Антарéс	α Sco	Минтáка	δ Ori	Шедúр	α Cas
Áрктур	α Boo	Мúра	o Cet	Элéктра	17 Tau
Астеропа 1	21 Tau			Этамúн	γ Dra

В столбцах левой страницы даны: обозначения звезд (в буквенной системе Байера,
Обсерватории (3-е изд., 1964), звездная величина в системе V (добавление v означает
(v?) — подозрение в переменности на основе больших расхождений в оценках разных
места 1975 и годичные изменения α и δ (включающие прецессию и влияние собственного

В столбцах правой страницы: обозначение звезды с трехбуквенным латинским
ский параллакс), собственные движения μ_α и μ_δ, лучевая скорость V_r (v — переменная
ний в конце таблицы.

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
YY Рыб	$4^m,41$ v	M3 III	$0^h00^m40^s,6$	$+3^s,08$	−6°09′11″	+20″,0
α Андромеды	2,06 v	B8 IVp	07 05,5	+3,11	+28 57 09	+19,9
β Кассиопеи	2,27 v	F2 IV	07 50,0	+3,22	+59 00 43	+19,9
ε Феникса	3,88	K0 III	08 08,7	+3,04	−45 53 08	+19,9
γ Пегаса	2,84 v	B2 IV	11 56,7	+3,09	+15 02 41	+20,0
AE Кита	4,44 v	M1	13 22,2	+3,05	−19 04 46	+20,0
ι Кита	3,55	K2 III	18 09,2	+3,06	−08 57 44	+19,9
ζ Тукана	4,23	G2 V	18 46,7	+3,11	−65 01 18	+21,1
β Южн. Гидры	2,80 v?	G1 IV	24 27,6	+3,12	−77 23 42	+20,3
κ Феникса	3,94	A3	24 58,5	+2,95	−43 49 07	+20,0
α Феникса	2,40	K0 III	25 03,0	+2,96	−42 26 31	+19,5
β¹ Тукана	4,37	A2	30 25,1	+2,75	−63 06 12	+19,8
κ Кассиопеи	4,16 v?	B1 Iae	31 33,9	+3,43	+62 47 39	−19,9
π Андромеды	4,33 v?	B5 V	35 32,4	+3,21	+33 34 55	+19,8
ζ Кассиопеи	3,66 v?	B2,5 IV	35 34,1	+3,36	+53 45 35	+19,8
ε Андромеды	4,38	G8 IIIp	37 13,8	+3,18	+29 10 35	+19,5
δ Андромеды	3,28	K3 III	37 59,1	+3,22	+30 43 28	+19,7
α Кассиопеи	2,23 v?	K0 II—IIIe	39 04,7	+3,42	+56 24 02	+19,7
η Феникса	4,36	A0	42 14,0	+2,69	−57 36 00	+19,7
β Кита	2,02 v?	K1 IIIe	42 20,1	+3,01	−18 07 25	+19,7
ο Кассиопеи	4,50	B2 V	43 19,4	+3,36	+48 08 52	+19,7
ζ Андромеды	4,06 v	K1 II	46 00,5	+3,19	+24 07 53	+19,6
δ Рыб	4,44	K5 III	47 23,0	+3,11	+07 26 57	+19,6
η Кассиопеи	3,45	F8	47 34,4	+3,65	+57 41 01	+19,1
γ Кассиопеи	2,39 v	B0 IVpe	55 11,2	+3,64	+60 34 54	+19,5
μ Андромеды	3,87	A4 III	55 21,6	+3,34	+38 21 51	+19,5
η Андромеды	4,42 v?	G8 III—IV	55 52,1	+3,21	+23 16 59	+19,5
α Скульптора	4,29 v?	B8 IIIp	57 24,1	+2,89	−29 29 33	+19,4
ε Рыб	2,28	K0 III	1 01 38,6	+3,12	+07 45 21	+19,4
β Феникса	3,31 v?	G8 III	04 58,2	+2,68	−46 51 08	+19,3
2 М. Медведицы	4,26	K2 III	05 01,7	+8,7	+86 07 26	+19,2
η Кита	3,45	K3 IIIe	07 19,8	+3,02	−10 18 52	+19,0
ζ Феникса	3,91 v	B6 V	07 20,2	+2,52	−55 22 45	+19,2
φ Андромеды	4,25	B7 V	08 02,6	+3,50	+47 06 32	+19,2
β Андромеды	2,06 v?	M0 III	08 19,6	+3,37	+35 29 18	+19,0
θ Кассиопеи	4,34 v?	A5	09 34,1	+3,67	+55 01 02	+19,1
τ Рыб	4,51	K0 III—IV	10 16,7	+3,31	+29 57 26	+19,1
θ Кита	3,59	K0 III	22 46,3	+3,00	−08 18 43	+18,5
δ Кассиопеи	2,68 v	A5 V	24 09,9	+3,95	+60 06 21	+18,7
γ Феникса	3,41 v	K5 IIb	27 16,8	+2,60	−43 26 46	+18,4
η Рыб	3,62 v?	G8 III	30 08,5	+3,21	+15 13 02	+18,5
δ Феникса	3,95	K0 III—IV	30 12,7	+2,49	−49 12 08	+18,7
υ Андромеды	4,09	F8 V	35 19,3	+3,53	+41 16 52	+18,0
51 Андромеды	3,57	K3 III	36 26,9	+3,70	+48 30 08	+18,2
α Эридана	0,47	B3 Vpe	36 47,0	+2,23	−57 21 49	+18,3
ν Рыб	4,44	K3 III	40 07,7	+3,13	+05 21 42	+18,2
φ Персея	4,06 v	B1 (III, V) pe	42 05,0	+3,78	+50 23 48	+18,1
τ Кита	3,50	G8 V—VIp	42 54,3	+2,79	−16 04 07	+18,9
ο Рыб	4,26	G8 III	44 04,2	+3,17	+09 01 57	+18,1
ζ Кита	3,72 v?	K2 III	50 13,5	+2,96	−10 27 29	+17,7
α Треугольника	3,42	F6 IV	51 39,1	+3,43	+29 27 28	+17,5

4^m,5 в системе *V*

цифровой — Флемстида, либо номера курсивом — из каталога Ярких Звезд Йельской
переменную звезду — дается блеск в максимуме, *v*? — подозрение в переменности блеска,
наблюдателей), спектральный класс (почти везде по двумерной классификации), средние
движения).
названием созвездия, показатель цвета — *B—V*, параллакс π (dyn обозначает динамиче-
V_r, *v*? — подозрение в переменности), галактические координаты *l* и *b*, №№ примеча-

Звезда	*B—V*	π, 0",001	μ_α, 0",001	μ_δ, 0",001	V_r, км/с	*l*	*b*	Примечание
YY Psc	1^m,63		+48	−33	−11,8	92°	−66°	1
α And	−0,11	25	+134	−161	−11,7 *v*	112	−33	2
β Cas	0,34	72	+527	−178	+11,8 *v*	118	− 3	3
ε Phe	1,03	65	+124	−179	−9,2	324	−70	
γ Peg	−0,23	7	−1	−10	+4,1 *v*	109	−47	
AE Cet	1,65	26	−28	−63	−23	75	78	4
ι Cet	1,22	12	−18	−29	+18,6	99	−70	5
ζ Tuc	0,58	134	+1708	+1163	+9	308	−52	
β Hyi	0,62	153	+2223	+326	+23	305	−40	
κ Phe	0,17	66	+102	+30	+9	318	−73	
α Phe	1,09	38	+198	−395	+74,7 *v*	320	−74	6
β¹ Tuc	−0,07	30	+89	−54	+10 *v*	307	−54	7
κ Cas	0,14	1	+4	+0	−2,3 *v*	121	+0	8
π And	−0,16	7	+13	−6	+8,6 *v*	119	−29	9
ζ Cas	−0,19	5	+18	−8	+1,9	121	−9	
ε And	0,87	30	−232	−249	−83,6	120	−33	
δ And	1,28	25	+133	−90	−7,9 *v*	120	−32	10
α Cas	1,17	9	+50	−29	−4,1	121	−6	11
η Phe	0,00	39	−6	+11	+10 *v*	305	−60	12
β Cet	1,01	56	+231	+40	+13,1	111	−81	13
ο Cas	−0,06	24	−64	+9	−9	129	+9	
ζ And	1,12	30	−104	−80	−23,7 *v*	122	−39	14
δ Psc	1,51	16	+83	−47	+32,3	122	−55	
η Cas	0,58	21	−13	+16	+1 *v*	132	+6	15
γ Cas	−0,10	34	+26	−2	−6,8	124	−2	16
μ And	0,12	34	+152	−34	+7,6	124	−24	17
η And	0,94	2	−37	−40	−10,3 *v*	125	−39	18
α Scl	−0,17	12	+10	+5	+10,5	268	−87	
ε Psc	0,96	29	−82	+29	+7	128	−55	
β Phe	0,90	17	−35	+3	−1	296	−70	19
2 UMi	1,21	13	+82	−6	+9	123	+23	
η Cet	1,16	37	+212	−132	+11,5	137	−73	
ζ Phe	−0,10	39	−6	+11	+10	305	−60	20
φ And	−0,07	7	+6	−8	−0 *v*?	126	−16	21
β And	1,57	42	+177	−113	+1 *v*?	127	−27	22
θ Cas	0,17	5	+228	−19	+9 *v*	126	−8	23
τ Psc	1,10	20	+69	−36	+30 *v*	128	−33	24
θ Cet	1,06	34	−80	−215	+17,0	147	−70	
δ Cas	0,13	40	+297	−47	+6,7	127	−2	25
γ Phe	1,57	5	−28	−207	+25,5 *v*	281	−72	26
η Psc	0,97	22	+26	−6	+14,8	137	−46	27
δ Phe	0,99	23	+131	+157	−7,1 *v*	286	−67	28
υ And	0,54	62	−175	−378	−28,5 *v*	132	−21	29
51 And	1,28	22	+63	−112	+16,1	131	−14	
α Eri	−0,15	32	+92	−34	+17 *v*	291	−59	30
ν Psc	1,36	34	−24	+5	+0,4	145	−55	
φ Per	−0,04	18	+21	−14	+0,8 *v*	131	−11	31
τ Cet	0,72	276	−1718	+860	−16,4	173	−73	32
ο Psc	0,96	20	+71	+53	+13,6	145	−51	
ζ Cet	1,14	24	+34	−36	+9,0 *v*	166	−68	33
α Tri	0,48	50	+10	−230	−16,3 *v*	139	−31	34

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1985}	Годовое изменение α	δ_{1985}	Годовое изменение δ
ψ Овна	$3^m,88$ v	B9 V+ +A1p	$1^h52^m09^s,3$	$+3^s,30$	+19°10′18″	+17″,6
ε Кассиопеи	3,38 v?	B2 IVp	52 34,7	+4,35	+63 32 52	+17,7
ψ Феникса	4,41 v	M4 III	52 38,6	+2,40	−46 25 29	+17,6
β Овна	2,63 v	A5 V	53 15,3	+3,32	+20 41 11	+17,5
χ Эридана	3,70 v?	G5 IV	54 59,1	+2,33	−51 43 59	+17,9
α Юж. Гидры	2,87	F0 V	57 58,9	+1,89	−61 41 28	+17,5
υ Кита	4,01	M1 III	58 49,5	+2,83	−21 11 54	+17,4
48 Кассиопеи	4,50 v?	A3 IV	59 52,4	+4,98	+70 47 13	+17,4
α Рыб	3,79 v?	A0 p	2 00 45,0	+3,11	+02 38 37	+17,3
50 Кассиопеи	3,98	A2 V	01 16,0	+5,18	+72 18 05	+17,3
γ Андромеды	2,10	K3 II	02 21,4	+3,69	+42 12 38	+17,2
α Овна	2,00 v?	K2 III	05 45,6	+3,39	+23 20 42	+17,0
α М. Медведицы	2,02 v	F8 Ib	07 26,5	+50,8	+89 09 00	+17,0
β Треугольника	3,00	A5 III	08 03,0	+3,58	+34 52 11	+17,0
ξ^1 Кита	4,37	G8 II	11 40,3	+3,18	+08 43 49	+16,8
φ Эридана	3,56	B8 V	15 36,9	+2,14	−51 37 39	+16,6
γ Треугольника	4,01	A0 Vn	15 49,3	+3,58	+33 43 57	+16,6
o Кита	2,0 v	M5 e	18 04,8	+3,03	−03 05 26	+16,3
δ Юж. Гидры	4,08	A2 V	21 18,0	+1,08	−68 46 23	+16,4
$\varkappa$ Эридана	4,25	B5 IV	26 04,1	+2,20	−47 48 56	+16,1
ξ^2 Кита	4,29	B9 III	26 49,6	+3,19	+08 20 56	+16,1
ι Кассиопеи	4,51 v	A5 IIp	26 59,0	+4,95	+67 17 29	+16,2
δ Кита	4,06 v	B2 IV	38 11,9	+3,08	+00 13 17	+15,5
ε Юж. Гидры	4,10	B9 III	38 12,0	+0,93	−68 22 25	+15,4
ι Эридана	4,11	K0 III	39 40,8	+2,37	−39 57 43	+15,3
γ Кита	3,47	A3 V	42 00,2	+3,11	+03 07 52	+15,1
θ Персея	4,13	F7 V	42 28,9	+4,11	+49 07 26	+15,1
π Кита	4,25	B7 V	42 55,9	+2,86	−13 57 50	+15,2
μ Кита	4,26	F0 IV	43 35,3	+3,25	+10 00 34	+15,1
τ^1 Эридана	4,48	F6 V	43 56,1	+2,80	−18 40 39	+15,2
39 Овна	4,51	K1 III	46 24,9	+3,58	+29 08 59	+14,9
β Печи	4,46	G6 III	48 02,6	+2,51	−32 30 37	+15,0
c Овна	3,63 v?	B8 Vn	48 30,4	+3,54	+27 09 30	+14,8
η Персея	3,77	K3 Ib	48 51,7	+4,40	+55 47 35	+14,8
16 Персея	4,23	F2 III	48 59,9	+3,78	+38 13 00	+14,8
τ Персея	3,95 v?	G4 III	52 28,5	+4,27	+52 39 41	+14,6
η Эридана	3,82 v?	K1 III—IV	55 12,3	+2,93	−08 59 48	+14,2
θ Эридана	2,91 v?	A3 V	57 18,7	+2,27	−40 24 15	+14,4
α Кита	2,53 v	M2 III	3 00 58,2	+3,14	+03 59 33	+14,0
τ^3 Эридана	4,09	A4 V	01 17,3	+2,65	−23 43 18	+14,0
γ Персея	2,94	G8 III	02 58,5	+4,36	+53 24 35	+14,0
ρ Персея	3,39 v	M4 II—IIIe	03 34,1	+3,85	+38 44 40	+13,8
β Персея	2,13 v	B8 V	06 32,1	+3,91	+40 51 38	+13,8
ι Персея	4,05	G0 V	07 15,2	+4,34	+49 31 09	+13,6
$\varkappa$ Персея	3,77 v?	K0 III	07 48,1	+4,06	+44 45 50	+13,5
δ Овна	4,34 v?	K2 III	10 11,7	+3,44	+19 37 59	+13,5
α Печи	3,75	F8 IV	11 00,5	+2,55	−29 05 06	+14,1
τ^4 Эридана	3,70 v	M3 III	18 24,2	+2,67	−21 50 53	+13,1
999 Овна	4,47	K3 II	18 49,4	+3,64	+28 57 32	+13,0
e Эридана	4,27	G5 V	18 55,8	+2,40	−43 09 53	+13,7
α Персея	1,72 v?	F5 Ib	22 31,7	+4,30	+49 46 25	+12,7
o Тельца	3,57 v?	G8 III	23 27,9	+3,23	+08 56 31	+12,6
ξ Тельца	3,75	B8 V	25 48,7	+3,26	+09 38 48	+12,5
35 Жирафа	4,19 v?	B9 Ia	27 01,9	+4,88	+59 51 17	+12,4
σ Персея	4,33 v?	K3 III	28 48,2	+4,24	+47 54 37	+12,3
f Тельца	4,11	K0 II—III	29 29,4	+3,32	+12 51 07	+12,2
ε Эридана	3,73	K2 V	31 45,1	+2,83	−09 32 31	+12,1
τ^5 Эридана	4,26	B8 V	32 40,9	+2,65	−21 42 57	+12,0
ψ Персея	4,23	B5 Ie	34 42,3	+4,28	+48 06 39	+11,9
10 Тельца	4,28	F8 V	35 35,7	+3,06	+00 19 24	+11,3
δ Персея	3,01 v	B5 III	41 08,2	+4,28	+47 42 32	+11,4
δ Эридана	3,54	K0 IV	42 03,0	+2,88	−09 50 50	+12,1
o Персея	3,83 v	B1 III	42 44,8	+3,77	+32 12 37	+11,3
17 Тельца	3,69	B6 III	43 23,2	+3,56	+24 02 09	+11,3

Звезда	$B-V$	π, 0″,001	μ_α, 0″,001	μ_δ, 0″,001	V_r, км/с	l	b	Примечание
γ Ari	$-0^m,04$	21	+78	−103	+5,3	143°	−41°	35
ε Cas	−0,15	7	+35	−16	−8,1	130	+2	
ψ Phe	1,59	5	−95	−87	+4 *v*	274	−67	36
β Ari	0,13	64	+98	−110	−3 *v*	142	−40	37
χ Eri	0,85	57	+674	+294	−6,3	281	−63	38
α Hyi	0,28	50	+263	+34	+7,0	289	−54	
υ Cet	1,56	6	+127	−18	+18,0	195	−73	
48 Cas	0,17	4	+17	−7	−8	122	−15	39
α Psc	0,02	25	+33	+1	+9 *v*	155	−56	40
50 Cas	−0,01	25	−42	+27	−14	128	+10	41
γ And	1,21	5	+42	−51	−13	137	−19	42
α Ari	1,15	43	+192	−146	−14,4	145	−36	43
α UMi	0,60	3	+46	−4	−16,4 *v*	123	+26	44
β Tri	0,14	15	+150	−42	+15,2 *v*	141	−25	45
ξ¹ Cet	0,88	15	−24	−3	−4,2 *v*	155	−49	46
φ Eri	−0,12	18	+85	−24	+10,2	275	−61	47
γ Tri	0,62	33	+46	−48	+12 *v*?	143	−26	48
o Cet	1,59	13	−9	−232	+64 *v*	168	−58	49
δ Hyi	0,04	42	−48	+8	+11	291	−46	
κ Eri	−0,14	6	+17	−7	+29 *v*	267	−62	50
ξ² Cet	−0,06	22	+40	−4	+11,2 *v*	160	−47	51
ι Cas	0,13	21	−13	+16	+1	132	+6	52
δ Cet	−0,21	4	−12	+2	+13,0 *v*	171	−52	53
ε Hyi	−0,06	16	+92	+11	+6,0	289	−46	
ι Eri	1,02	29	+133	−28	−9,3	249	−64	
γ Cet	0,09	48	−141	−147	−5	169	−49	54
θ Per	0,49	78	+337	−87	+25,0	141	−10	55
π Cet	−0,14	11	−6	−12	+15,4	192	−61	
μ Cet	0,31	40	+284	−30	+30,4 *v*	163	−44	56
τ¹ Eri	0,48	67	+331	+45	+3 *v*	201	−63	57
39 Ari	1,11	22	+151	−121	−16	151	−27	
β For	0,99	20	+91	+163	+17 *v*?	232	−64	
c Ari	−0,10	28	+67	−113	+4,0 *v*	153	−29	58
η Per	1,69	4	+21	−11	−1,0	139	−3	59
16 Per	0,34	20	+190	−106	+14	147	−19	
τ Per	0,75	12	+2	−4	+2,2 *v*	141	−6	60
η Eri	1,10	29	+78	−213	−20	187	−55	
θ Eri	0,12	28	−55	+26	+12 *v*	248	−61	61
α Cet	1,64	3	−9	−74	−25,8	173	−46	62
τ³ Eri	0,16	51	−145	−46	−10	214	−60	
γ Per	0,70	11	+3	−3	+2,7 *v*	142	−4	63
ρ Per	1,65	8	+132	−106	+28,2	150	−17	64
β Per	−0,05	37	+6	−1	+4 *v*	149	−15	65
ι Per	0,60	85	+1267	−81	+48,8	145	−7	
κ Per	0,98	29	+181	−155	+29	147	−11	
δ Ari	1,03	25	+153	−7	+25	163	−32	
α For	0,58	70	+331	+642	−21	225	−59	66
τ⁴ Eri	1,62	18	+62	−2	+18 *v*	235	−45	67
999 Ari	1,54	12	+1	−14	−2	158	−23	
e Eri	0,71	156	+3056	+744	+86,8	251	−56	
α Per	0,48	28	+25	−24	−2,8	147	−6	68
o Tau	0,89	14	−65	−75	−20,1 *v*	174	−38	69
ξ Tau	−0,09	17	+59	−32	−2,0 *v*	174	−37	70
35 Cam	0,41	1	+2	0	−7	141	+3	71
σ Per	1,34	8	+6	+22	+15,9	148	−7	
f Tau	1,13	16	+22	0	+14,7 *v*	172	−34	72
ε Eri	0,88	303	−975	+22	+15	196	−48	73
τ⁵ Eri	−0,12	13	+44	−22	−15 *v*	214	−53	74
ψ Per	−0,06	8	+27	−26	0	149	−6	
10 Tau	0,57	57	−234	−479	+27,9	185	−42	
δ Per	−0,12	8	+30	−35	−9 *v*	150	−6	75
δ Eri	0,92	109	−92	+744	−6	198	−46	
o Per	0,05	16	+11	−12	+20 *v*	160	−18	76
17 Tau	−0,12	19	+22	−45	−0,2 *v*	166	−24	77

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
ν Персея	$3^m,75$ *v*?	F5 II	$3^h43^m29^s,4$	$+4^s,09$	$+42°30'03''$	$+11'',2$
q Тельца	4,30	B8 V	43 43,0	+3,58	+24 23 24	+11,2
β Сетки	3,84	K0 IV	43 52,8	+0,76	−64 53 08	+11,3
20 Тельца	3,87	B7 III	44 20,1	+3,58	+24 17 27	+11,1
23 Тельца	4,18 *v*?	B6 IVn	44 50,3	+3,57	+23 52 18	+11,1
π Эридана	4,42 *v*?	M2 IIIab	44 57,5	+2,84	−12 10 45	+11,3
τ^6 Эридана	4,23	F3 V	45 46,3	+2,58	−23 19 22	+10,6
η Тельца	2,87	B7 III	45 59,7	+3,57	+24 01 44	+11,0
BE Жирафа	4,48 *v*	M2 IIa	47 12,9	+5,52	+65 27 02	+11,1
γ Юж. Гидры	3,24	M0 III	47 36,6	−0,90	−74 18 58	+11,1
27 Тельца	3,62	B8 III	47 40,3	+3,57	+23 58 41	+10,9
f Эридана	4,27	B9+B8	47 40,4	+2,21	−37 41 46	+11,0
g Эридана	4,17	G5 III	48 31,1	+2,25	−36 16 31	+10,8
ζ Персея	2,86 *v*?	B1 Ib	52 33,4	+3,78	+31 48 38	+10,6
ε Персея	2,89	B0,5V	56 10,3	+4,03	+39 56 21	+10,3
γ Эридана	2,94 *v*	M0 III	56 51,7	+2,80	−13 34 43	+10,1
ξ Персея	4,00 *v*?	O7	57 20,3	+3,90	+35 43 13	+10,2
δ Сетки	4,41	M2 III	58 20,8	+0,95	−61 28 14	+10,2
ϖ Эридана	4,45	A0 p	58 51,4	+3,01	−24 05 11	+10,6
λ Тельца	3,41 *v*	B3 V + A3	59 17,6	+3,33	+12 25 15	+10,1
γ Сетки	4,42 *v*	M5 III	4 00 31,9	+0,87	−62 13 44	+10,0
ν Тельца	3,91	A1 V	01 49,4	+3,19	+05 55 16	+9,9
A^1 Тельца	4,37	K0 III	03 12,8	+3,55	+22 00 53	+9,7
λ Персея	4,29	B9 Vn	04 42,9	+4,48	+50 17 06	+9,6
MX Персея	4,03 *v*	B3 V	06 50,4	+4,37	+47 38 50	+9,5
o^1 Эридана	4,04 *v*	F2 II—III	10 38,6	+2,93	−06 54 06	+9,3
μ Персея	4,11 *v*?	G0 Ib	13 03,3	+4,42	+48 20 50	+9,0
α Часов	3,86	K1 III	13 10,3	+1,99	−42 21 19	+8,8
α Сетки	3,34	G6 II	14 05,9	+0,78	−62 32 10	+9,0
o^2 Эридана	4,42	K1 V	14 07,2	+2,76	−07 41 27	+5,5
μ Тельца	4,30	B3 V	14 10,5	+3,26	+08 49 51	+8,9
γ Золотой Рыбы	4,42 *v*	F5 V	15 22,2	+1,57	−51 32 57	+9,0
ε Сетки	4,44	K2 IVa	16 02,9	+1,04	−59 21 42	+8,7
υ^4 Эридана	3,55	B9 V	16 56,8	+2,27	−33 51 31	+8,8
γ Тельца	3,60 *v*?	K0 III	18 22,1	+3,42	+15 34 06	+8,6
δ Тельца	3,79 *v*?	K0 IIIe	21 29,4	+3,46	+17 29 06	+8,3
υ^3 Эридана	3,96	M1 III	23 05,8	+2,25	−34 04 27	+8,3
ϰ Тельца	4,22	A7 V	23 52,6	+3,58	+22 14 16	+8,1
68 Тельца	4,28	A2 IV	24 02,4	+3,48	+17 52 20	+8,1
υ Тельца	4,28	A8 Vn	24 48,5	+3,59	+22 45 29	+8,1
71 Тельца	4,49	F0 V	24 55,1	+3,42	+15 33 46	+8,1
θ^1 Тельца	3,83	K0 III	27 08,6	+3,43	+15 54 28	+7,9
ε Тельца	3,54	K0 III	27 09,3	+3,51	+19 07 34	+7,9
θ^2 Тельца	3,41	A7 III	27 13,9	+3,43	+15 49 00	+7,9
υ^1 Эридана	4,50	G6 II	32 31,7	+2,35	−29 48 59	+7,3
α Золотой Рыбы	3,26	A0 IIIp	33 27,3	+1,30	−55 05 47	+7,4
d Тельца	4,24 *v*?	A5 Vm:	34 16,7	+3,30	+10 06 39	+7,3
α Тельца	0,86 *v*	K5 III	34 29,1	+3,45	+16 27 37	+7,1
υ^2 Эридана	3,82	K0 III	34 34,6	+2,33	−30 36 46	+7,3
e Персея	4,22	G8 III—A3V	34 57,2	+4,16	+41 12 53	+7,3
ν Эридана	3,92 *v*	B2 III	35 04,1	+3,00	−03 24 09	+7,3
c^1 Тельца	4,27	A6 Vn	36 45,5	+3,35	+12 27 43	+7,1
l Эридана	3,87	K2 III	37 02,1	+2,75	−14 21 07	+6,9
DM Эридана	4,34 *v*	M4 III	39 20,8	+2,62	−19 43 07	+6,9
α Резца	4,45	F2 V	39 45,3	+1,93	−41 54 39	+6,8
τ Тельца	4,28	B3 V	40 44,5	+3,60	+22 54 37	+6,8
μ Эридана	4,02	B5 IV	44 15,0	+3,00	−03 17 58	+6,5
π^3 Ориона	3,15 *v*?	F6 V	48 28,9	+3,26	+06 55 08	+6,2
π^2 Ориона	4,35	A1 Vn	49 14,9	+3,27	+08 51 30	+6,1
π^4 Ориона	3,60 *v*?	B2 III	49 52,4	+3,20	+05 33 49	+6,0
α Жирафа	4,29	O9,5 Ia	51 33,2	+5,98	+66 18 09	+5,9
ω Эридана	4,39	A9 IV	51 39,9	+2,95	−05 29 36	+5,9
π^5 Ориона	3,73 *v*	B2 III	52 56,8	+3,13	+02 24 03	+5,8
o^2 Ориона	4,06	K2 III	54 57,8	+3,38	+13 28 34	+5,6

Звезда	$B-V$	π, 0",001	μ_α, 0",001	μ_δ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
ν Per	0^m,42	12	−10	+2	−12,7	154°	−10°	78
q Tau	−0,11	11	+22	−44	+3,1	166	−24	79
β Ret	1,14	45	+305	+78	+55 *v*	279	−44	80
20 Tau	−0,07	13	+23	−45	+7,6	166	−23	81
23 Tau	−0,06	11	+25	−44	+6	167	−24	
π Eri	1,64	7	+47	+61	+46	202	−46	
τ^{6} Eri	0,42	55	−157	−524	+67	217	−50	
η Tau	−0,09	6	+23	−44	+10	167	−23	82
BE Cam	1,88	12	−2	−8	−3,3 *v*?	140	+9	83
γ Hyi	1,62	15	+51	+114	+15,8	289	−38	
27 Tau	−0,09	11	+19	−45	−0,4 *v*	167	−23	84
f Eri	−0,01	18	+74	−23	+16	240	−52	85
g Eri	0,95	22	−51	−49	+2,0	238	−51	
ζ Per	0,12	6	+10	−11	+19,0	162	−17	86
ε Per	−0,18	4	+23	−28	+1 *v*	157	−10	87
γ Eri	1,60	10	+64	−109	+61,7	205	−44	88
ξ Per	0,02	2	+9	−1	+70,1 *v*	160	−13	89
δ Ret	1,62	9	+1	−10	−1,4	270	−43	
w Eri	0,68	11	+28	+6	+27	192	−40	90
λ Tau	−0,12	8	−6	−10	+16,4	178	−29	91
γ Ret	1,66	—	−2	+26	−7 *v*	275	−43	92
ν Tau	0,03	23	+6	−2	−5,7	185	−33	
A^{1} Tau	1,07	14	+92	−59	+9,1	171	−22	93
λ Per	0,02	19	−7	−37	+6,1	152	−1	
MX Per	−0,03	16	+25	−30	—	154	−3	94
o^{1} Eri	0,33	26	+9	+83	+11,0 *v*	199	−38	
μ Per	0,95	12	+10	−22	+7,7 *v*	154	−2	95
α Hor	1,10	20	+38	−206	+21,7	247	−46	
α Ret	0,91	20	+43	+48	+35,6	274	−42	96
o^{2} Eri	0,82	202	−2225	−3418	−42	201	−38	97
μ Tau	−0,05	8	+27	−23	+17,0	184	−29	
γ Dor	0,31	56	+101	+186	+26,0	260	−45	
ε Ret	1,08	58	−55	−165	+29 *v*?	270	−42	98
υ^{4} Eri	−0,14	18	+62	−2	+18 *v*	235	−45	99
γ Tau	0,99	26	+119	−24	+38,8	179	−24	
δ Tau	0,99	16	+110	−31	+40 *v*	178	−22	100
υ^{3} Eri	1,49	10	+56	+52	+24,1	235	−44	
κ Tau	0,13	24	+100	−48	+40	175	−18	101
68 Tau	0,04	19 dyn	+112	−29	+35	178	−21	102
υ Tau	0,26	8	+7	−16	+12 *v*	177	−15	103
71 Tau	0,25	3	+114	−23	+41 *v*	180	−23	104
θ^{1} Tau	0,95	33	+105	−28	+40	180	−22	105
ε Tau	1,01	20	+112	−38	+39,0	178	−20	106
θ^{2} Tau	0,18	35	+105	−26	+40 *v*	180	−22	107
υ^{1} Eri	0,98	18	−107	−274	+20	230	−42	
α Dor	−0,11	11	+51	−1	+25,6	264	−41	108
d Tau	0,18	30	+56	−45	+29 *v*	186	−24	109
α Tau	1,54	49	+69	−190	+54,1	181	−20	110
υ^{2} Eri	0,98	15	−54	−11	−4,0	231	−41	
e Per	1 22	20	−11	−18	+6 *v*	162	−4	111
ν Eri	−0,21	3	0	+1	14,5 *v*	199	−31	112
c^{1} Tau	0,12	18	+101	−12	+45 *v*	185	−22	113
l Eri	1,09	33	−73	−158	+41,8 *v*	211	−36	114
DM Eri	1,59	7	+23	−94	−34	218	−37	115
α Cae	0,34	38	−148	−80	−0,6	246	−41	
τ Tau	−0,14	33	+108	−47	+35 *v*	174	−16	116
μ Eri	−0,16	7	+15	−11	+23,3 *v*	201	−29	117
π^{3} Ori	−0,46	128	+468	+18	+24,2	191	−23	118
π^{2} Ori	0,01	29	+4	−31	+24	190	−22	119
π^{4} Ori	−0,16	2,4	−1	+2	+23,3	193	−24	120
α Cam	0,03	1,4	+5	+8	+6,1	144	+14	
ω Eri	0,23	7	−18	+24	−8,3 *v*	204	−29	121
π^{5} Ori	−0,19	2,4	−1	−0	+23,4 *v*	196	−25	122
o^{2} Ori	1,15	16	−73	−48	+1	187	−18	123

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
7 Жирафа	$4^m,43v$	A2 V	$4^h55^m16^s,6$	$+4^s,82$	+53°42′50″	+5″,6
ι Возничего	2,69 v?	K3 II	55 21,8	+3,91	+33 07 41	+5,6
π^6 Ориона	4,45 v?	K2 II	57 15,1	+3,11	+01 40 37	+5,4
ε Возничего	2,98 v	F0 Iap	5 00 10,3	+4,31	+43 47 16	+5,2
ζ Возничего	3,73 v	K4 Ib	00 43,7	+4,20	+41 02 27	+5,1
β Жирафа	4,03	G0 Ib	01 11,2	+5,35	+60 24 28	+5,1
ε Зайца	3,12 v?	K5 III	04 24,1	+2,54	−22 24 13	+4,7
η Возничего	3,16 v?	B3 V	04 45,5	+4,21	+41 12 08	+4,7
β Эридана	2,72 v?	A3 III	06 37,2	+2,95	−05 07 03	+4,5
λ Эридана	4,27 v	B2 IV	07 56,9	+2,87	−08 47 06	+4,5
ι Зайца	4,44	B8 V	11 07,8	+2,80	−11 53 53	+4,3
μ Зайца	3,29	B9 III	11 48,4	+2,70	−16 14 03	+4,2
ρ Ориона	4,42 v?	K3 III	11 59,0	+3,14	+02 49 57	+4,2
κ Зайца	4,36	B8 V	12 04,5	+2,77	−12 58 12	+4,3
β Ориона	0,03 v?	B8 Iae	13 20,1	+2,88	−08 13 46	+4,1
α Возничего	0,03 v?	G8 III	14 50,4	+4,44	+45 58 27	+3,5
τ Ориона	3,59	B5 III	16 23,5	+2,91	−06 52 13	+3,8
λ Зайца	4,29	B0,5 IV	18 25,3	+2,76	−13 12 06	+3,6
e Ориона	4,12	G8 III	22 44,5	+2,89	−07 49 48	+3,2
η Ориона	3,35 v	B0,5 V	23 13,2	+3,02	−02 25 08	+3,2
γ Ориона	1,59 v?	B2 III	23 47,3	+3,22	+06 19 42	+3,1
β Тельца	1,65	B7 III	24 42,6	+3,80	+28 35 16	+2,9
β Зайца	2,84 v?	G5 III	27 10,4	+2,57	−20 46 42	+2,8
A Ориона	4,20	B5 IV—V	29 26,7	+3,21	+05 55 49	+2,6
ε Голубя	3,87	K1 II	30 19,5	+2,13	−35 29 17	+2,6
δ Ориона	2,24 v	O9,5 II	30 43,7	+3,07	−00 18 59	+2,6
CE Тельца	4,35 v	M2 Ib	30 44,8	+3,52	+18 34 37	+2,5
α Зайца	2,57	F0 Ib	31 37,6	+2,65	−17 50 21	+2,5
β Золотой Рыбы	3,40 v	F8 Ia	33 24,3	+0,52	−62 30 22	+2,3
φ^1 Ориона	4,41	B0 IV	33 26,8	+3,30	+09 28 26	+2,3
λ^1 Ориона	3,38 v?	Oe5	33 45,6	+3,31	+09 55 07	+2,3
ι Ориона	2,77	O9 III	34 12,6	+2,94	−05 55 30	+2,3
ε Ориона	1,69 v	B0 Ia	34 56,6	+3,05	−01 13 00	+2,2
φ^2 Ориона	4,09	K0 III	35 31,9	+3,30	+09 16 42	+1,8
ζ Тельца	2,99 v	B2 IVp	36 09,0	+3,59	+21 07 43	+2,1
σ Ориона	3,80	O9,5 V	37 29,4	+3,01	−02 36 48	+2,0
α Голубя	2,62 v?	B8 V	38 44,6	+2,17	−34 05 12	+1,8
ζ^1 Ориона	1,72 v?	O9,5 Ib	39 29,8	+3,03	−01 57 17	+1,8
γ Зайца	3,60	F6 V	43 25,2	+2,50	−22 27 20	+1,1
δ Золотой Рыбы	4,34	A6 IV	44 43,7	+0,11	−65 44 42	+1,3
ζ Зайца	3,55	A3 V	45 49,3	+2,72	−14 49 49	+1,2
κ Ориона	2,01 v?	B0,5 Ia	46 34,2	+2,85	−09 40 39	+1,2
β Живописца	3,84	A3 V	46 41,5	+1,42	−51 04 30	+1,3
τ Возничего	4,50	K0 III	47 26,5	+4,16	+39 10 27	+1,1
γ Живописца	4,50	K1 III	49 22,3	+1,09	−56 10 21	+0,9
ν Возничего	3,97	K0 III	49 45,4	+4,16	+39 08 34	+0,9
β Голубя	3,12	K2 III	50 04,6	+2,12	−35 46 37	+1,3
δ Зайца	3,85	G8 III	50 14,7	+2,58	−20 52 49	+0,2
χ Ориона	4,41	G0 V	52 54,1	+3,55	+20 16 22	+0,5
α Ориона	0,42 v	M2 Ia	53 49,1	+3,25	+07 24 13	+0,6
η Зайца	3,72	F0 V	55 15,9	+2,73	−14 10 17	+0,6
γ Голубя	4,36	B3 IV	56 39,0	+2,13	−35 17 07	+0,3
δ Возничего	3,72	K0 III	57 28,1	+4,94	+54 17 05	+0,1
β Возничего	1,90 v	A2 V	57 41,7	+4,40	+44 56 48	+0,2
θ Возничего	2,65 v	A0 Vp	58 01,0	+4,09	+37 12 44	+0,1
π Возничего	4,25 v	M3,5 II	58 04,7	+4,45	+45 56 10	+0,2
η Голубя	3,96	K0 III	58 22,8	+1,84	−42 48 58	+0,1
μ Ориона	4,10 v?	A2m	6 01 00,4	+3,30	+09 38 55	−0,1
1 Близнецов	4,16	G5 II	02 36,0	+3,65	+23 15 58	−0,3
ν Ориона	4,41	B3 V	06 08,6	+3,43	+14 46 21	−0,6
ξ Ориона	4,48	B3 V	10 31,1	+3,41	+14 12 56	−0,9
η Близнецов	3,28 v	M3 III	13 22,1	+3,62	+22 30 55	−1,2
γ Единорога	3,96	K3 III	13 38,1	+2,93	−06 15 56	−1,2
κ Возничего	4,33	G8 III	13 47,1	+3,82	+29 30 31	−1,5
κ Голубя	4,37 v?	G8 III	15 39,7	+2,13	−35 07 53	−1,3
2 Рыси	4,44 v?	A2 V	17 25,1	+5,29	+59 01 19	−1,5
ζ Большого Пса	3,02	B2,5 V	19 21,1	+2,30	−30 03 05	−1,7
δ Голубя	3,84	G5 III	21 11,9	+2,19	−33 25 23	−1,8

Звезда	B−V	π, 0″,001	μ_α, 0″,001	μ_δ, 0″,001	V_r, км/с	l	b	Примечание
7 Cam	$-0^m,02$	10	−19	+6	−9,5 v	154°	+7°	124
ι Aur	1,53	15	+8	−19	+17,5	171	−6	125
π^6 Ori	1,40	12	+1	−2	+14	198	−24	
ε Aur	0,54	4	+3	−7	−1,4 v	163	+1	126
ζ Aur	1,22	3	+15	−23	+12,9 v	165	−0	127
β Cam	0,93	3	−2	−15	−1,7	150	+11	128
ε Lep	1,46	6	+25	−73	+1,0	223	−33	
η Aur	−0,18	12	+29	−71	+7,0	165	+0	
β Eri	0,13	40	−93	−79	−8,5 v?	205	−25	129
λ Eri	−0,20	4	+3	0	+3,0	209	−27	
ι Lep	−0,09	11	+26	−14	+25 v?	213	−27	130
μ Lep	−0,11	14	+42	−26	+27,7	217	−29	131
ρ Ori	1,19	8	+1	−5	+41	198	−20	132
ϰ Lep	−0,10	30	−15	−8	+18	214	−28	133
β Ori	−0,03	9	+1	0	+20,7 v	209	−25	134
α Aur	0,80	74	+83	−427	+29,1 v	163	+5	135
τ Ori	−0,12	8	−15	−5	+20,1	208	−24	136
λ Lep	−0,25	2	−3	−5	+20,2	215	−26	
e Ori	0,96	6	−15	−42	−18,2	210	−23	
η Ori	−0,17	4	+7	+4	+20 v	205	−20	137
γ Ori	−0,22	23	−6	−14	+18,2	197	−16	138
β Tau	−0,13	19	+30	−175	+8,1 v?	178	−4	139
β Lep	0,82	19	0	−90	−13,5	223	−27	140
A Ori	−0,13	1	+12	−34	+19	198	−15	141
ε Col	1,14	2	+23	−37	−5	214	−31	
δ Ori	−0,22	4	+9	−3	+18 v	204	−18	142
CE Tau	2,06	2	+6	−4	+23	187	−8	143
α Lep	0,20	2	+3	+5	+24,7	221	−25	144
δ Dor	0,80	7	−7	+4	+8 v	272	−33	145
φ^1 Ori	−0,15	2	+4	−4	+33,2 v	195	−12	146
λ^1 Ori	−0,19	6	+1	−6	+34	195	−12	147
ι Ori	−0,24	21	+3	+4	+27,6 v	210	−20	148
ε Ori	−0,18	2,4	0	0	+26,1	205	−17	
φ^2 Ori	0,95	24	+93	−305	+98,8	196	−12	
ζ Tau	−0,19	6	+6	−22	+21,8 v	186	−6°	149
σ Ori	−0,24	2	−0	+4	+29,2	207	−17	150
α Col	−0,12	20	−1	−26	+35,0	239	−29	151
ζ^1 Ori	−0,21	22	+4	−2	+18,1	206	−17	152
γ Lep	0,47	121	−287	−371	−9,7	227	−24	153
δ Dor	0,21	19	−30	+4	−3,0	275	−31	
ζ Lep	0,10	43	−16	+4	+20,0 v	219	−21	
ϰ Ori	−0,18	9	+4	−2	+20,6 v?	215	−18	
β Pic	0,17	55	+2	+83	+28	258	−31	
τ Aur	0,95	4	−22	−25	−20	172	+6	
γ Pic	1,10	13	+74	−67	+15,7	264	−31	
ν Aur	1,14	20	0	+8	+9,7	172	+6	154
β Col	1,16	24	+47	+399	+89,2	241	−27	
δ Lep	0,98	24	+231	−645	+99,3	227	−22	
χ Ori	0,59	101	−184	−87	+13,5	188	−3	
α Ori	1,84	5	+27	+7	+21,0 v	200	−9	155
η Lep	0,33	63	−41	+138	−1,6	220	−18	
γ Col	−0,18	5	−6	+5	+24,2	241	−26	156
δ Aur	0,99	21	+85	−128	+8,2	159	+15	
β Aur	0,03	37	−51	−4	−17,6 v	167	+10	157
θ Aur	−0,08	18	+51	−83	+29,3	174	+7	158
π Aur	1,67	3	+3	−9	+1	167	+11	159
η Col	1,14	16	+11	−22	+17,0	249	−27	
μ Ori	0,16	29	+16	−29	+43,3 v	199	−6	160
1 Gem	0,87	25	−7	−105	+32 v	187	+1	161
ν Ori	−0,15	7	+9	−27	+24,1 v	195	−3	162
ξ Ori	−0,17	7	+6	−23	+24	196	−2	163
η Gem	1,61	13	−64	−15	+18 v	189	+2	164
γ Mon	1,31	10	−4	−18	−4,8	214	−11	165
ϰ Aur	1,01	18	−67	−264	+20,3	183	+6	
ϰ Col	1,00	20	−11	+80	+24,2	242	−22	
2 Lyn	0,01	33	−5	+22	−3,6	156	+19	
ζ CMa	−0,18	15	+3	+2	+31 v	238	−19	166
δ Col	0,88	13	−30	−56	−2,6 v	241	−20	167

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
μ Близнецов	$2^m,87$ v	M3 III	$6^h21^m26^s,9$	$+3^s,63$	+22°31′40″	−2″,0
β Большого Пса	1,97 v	B1 II	21 35,9	+2,64	−17 56 33	−1,9
ε Единорога	4,31	A5 IV	22 26,6	+3,18	+04 36 24	−1,9
α Киля	−0,75	F0 Ib	23 23,8	+1,33	−52 40 54	−2,0
λ Большого Пса	4,48	B4 V	27 14,5	+2,22	−32 33 49	−2,3
ν Близнецов	4,14	B7 IV	27 28,7	+3,56	+20 13 45	−2,4
β Единорога	3,76	B3 Vep	27 36,7	+2,91	−07 01 02	−2,4
ξ¹ Большого Пса	4,33 v	B0,5 IV	30 48,8	+2,50	−23 23 58	−2,6
13 Единорога	4,50	A0 Ib	31 33,1	+3,24	+07 21 09	−2,8
N Киля	4,38	B9 III	34 25,4	+1,32	−52 57 17	−3,0
ν² Большого Пса	3,92 v?	K1 IV	35 35,6	+2,61	−19 14 02	−3,1
γ Близнецов	1,93	A1 IV	36 16,1	+3,47	+16 25 19	−3,2
ν³ Большого Пса	4,42	K1 II—III	36 47,4	+2,64	−18 12 53	−3,1
ν Кормы	3,17	B8 III	36 59,7	+1,84	−43 10 24	−3,2
ε Близнецов	2,97 v?	G8 Ib	42 23,7	+3,69	+25 09 26	−3,7
30 Близнецов	4,49	K1 III	42 34,7	+3,38	+13 15 16	−3,8
ξ Близнецов	3,33 v?	F5 IV	43 53,2	+3,37	+12 55 26	−4,0
α Большого Пса	−1,46	A1 V	44 02,8	+2,64	−16 40 51	−5,0
18 Единорога	4,46	K0 III	46 33,4	+3,13	+02 26 26	−4,1
α Живописца	3,26 v?	A5 V	47 56,1	+0,6	−61 54 52	−3,9
κ Большого Пса	3,95 vd	B2 V	48 54,4	+2,24	−32 28 43	−4,2
A Киля	4,39	gG5	49 18,7	+1,30	−53 35 33	−4,2
τ Кормы	2,92	K0 III	49 18,9	+1,49	−50 35 04	−4,4
θ Близнецов	3,60	A3 III	51 08,6	+3,95	+33 59 34	−4,5
θ Большого Пса	4,08	K4 III	53 01,7	+2,79	−12 00 23	−4,6
o¹ Большого Пса	3,88 v?	K2,5 Iab	53 05,6	+2,49	−24 09 07	−4,5
ι Большого Пса	4,37 v?	B3 II	55 01,2	+2,68	−17 01 14	−4,8
15 Рыси	4,35	G5 III—IV	55 07,0	+5,19	+38 27 27	−4,9
ε Большого Пса	1,50	B2 II	57 38,6	+2,36	−28 56 14	−5,0
σ Большого Пса	3,43 v	M0 Ia	7 00 43,4	+2,39	−27 53 54	−5,2
o² Большого Пса	3,01	B3 Ia	01 58,8	+2,51	−23 47 45	−5,4
ζ Близнецов	3,7 v	F7 Ib	02 37,6	+3,56	+20 36 30	−5,4
γ Большого Пса	4,12	B8 II	02 37,6	+2,71	−15 35 43	−5,4
δ Большого Пса	1,80 v?	F8 Ia	07 22,5	+2,44	−26 21 09	−5,8
γ² Летучей Рыбы	3,56 v?	G8 III	08 58,0	−0,52	−70 27 13	−5,8
τ Близнецов	4,37 v?	K2 III	09 33,0	+3,82	+30 17 15	−6,0
δ Единорога	4,15	A2 V	10 35,2	+3,06	−00 27 01	−6,1
I Кормы	4,49	F0 V	11 50,8	+1,71	−46 43 01	−6,1
L² Кормы	3,1 v	M5 IIIe	12 46,5	+1,83	−44 35 54	−5,9
EW Большого Пса	4,3 v	B4 Vpe + B8	13 14,0	+2,45	−26 18 30	−6,2
ω Большого Пса	3,82 v	B3 IVe	13 47,8	+2,43	−26 43 43	−6,3
π Кормы	2,69 v?	K4 III	16 15,6	+2,12	−37 03 07	−6,5
λ Близнецов	3,52 v?	A3 V	16 39,4	+3,45	+16 35 12	−6,6
δ Летучей Рыбы	3,97	F8 II	16 50,8	−0,04	−67 54 42	−6,6
UW Большого Пса	4,5 v	O7f	17 37,9	+2,50	−24 30 44	−6,6
τ Большого Пса	4,31 v?	O9 III	17 40,2	+2,49	−24 54 28	−6,6
δ Близнецов	3,53	F0 IV	18 37,9	+3,58	+22 01 47	−6,8
η Большого Пса	2,44	B5 Ia	23 06,3	+2,37	−29 15 13	−7,1
ι Близнецов	3,79	K0 III	24 10,6	+3,72	+27 50 57	−7,3
β Малого Пса	2,89 v	B8 V	25 47,7	+3,25	+08 20 27	−7,4
γ Малого Пса	4,31	K3 III	26 48,1	+3,27	+08 58 39	−7,4
ρ Близнецов	4,18	F0 V	27 30,3	+3,86	+31 50 08	−7,3
σ Кормы	3,24	K5 III	28 26,2	+1,90	−43 15 01	−7,4
2906 Кормы	4,45	F5 V	32 58,9	+2,57	−22 14 29	−7,9
α Близнецов	1,58	A1 V	33 00,4	+3,83	+31 56 39	−8,0
υ Близнецов	4,06	K5 III	34 23,0	+3,69	+26 57 09	−8,1
κ Кормы	3,80	B6 V	37 47,8	+2,46	−26 44 39	−8,2
α Малого Пса	0,34 v?	F5 IV	37 59,6	+3,14	+05 17 24	−9,3
α Единорога	3,93	K0 III	40 03,1	+2,87	−09 29 31	−8,5
σ Близнецов	4,29 v	K1 III	41 45,1	+3,75	+28 56 43	−8,8
ζ Летучей Рыбы	3,94	K0 III	42 08,3	−0,75	−72 32 47	−8,6
3 Кормы	3,96	A2 I	42 48,2	+2,41	−28 53 40	−8,7
κ Близнецов	3,57	G8 III	42 56,4	+3,62	+24 27 33	−8,8
β Близнецов	1,10 v?	K0 III	43 47,2	+3,67	+28 05 16	−8,8

Звезда	B—V	π, 0",001	μα, 0",001	μδ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
μ Gem	1^m,64	20	+60	−114	+54,8	190°	+4°	168
β CMa	−0,24	15	−4	−1	+33,7 v	226	−14	169
ε Mon	0,20	20	−18	+8	+17,3 v	206	−4	170
α Car	0,15	17	+18	+17	+20,5	261	−25	171
λ CMa	−0,17	7	−24	+23	+41	241	−19	
ν Gem	−0,14	16	−3	−18	+39,4 v	192	+4	172
β Mon	−0,15	22	−18	+5	+21	217	−8	173
ξ¹ CMa	−0,24	2	−4	+11	+27 v	232	−15	174
13 Mon	−0,00	3	+1	−8	+12,3	204	+1	
N Car	−0,02	8	−18	+6	+23,1	262	−24	
ν² CMa	1,74	52	+64	−76	+3	229	−12	
γ Gem	0,00	3,0	+47	−46	−12,7 v	197	+4	175
ν³ CMa	1,15	−7	−9	−7	−1,5	228	−11	
ν Pup	−0,11	20	−4	−9	+28,2 v	252	−21	176
ε Gem	−0,02	8	0	−16	+9,9	190	+10	177
30 Gem	1,16	4	−1	−62	+136	200	+4	178
ξ Gem	0,43	53	−111	−195	+25,3	201	+4	
α CMa	0,00	376	−537	−1210	−7,6 v	227	−9	179
18 Mon	1,11	13	−16	−13	+11,8	210	+0	
α Pic	0,21	50	−74	+262	+20,3	272	−24	
κ CMa	−0,23	5	−9	+4	+14,0	342	−14	180
A Car	0,92	17	−8	+25	+26 v	263	−22	181
τ Pup	1,18	25	+25	−75	+36,4 v	260	−21	182
θ Gem	0,10	21	+5	−53	+20 v	182	+15	183
θ CMa	1,43	21	−139	−18	+97,3	224	−5	
o¹ CMa	1,05	2	−8	+10	+36,3 v?	235	−10	184
ι CMa	−0,06	2	−3	+11	+41	229	−7	
15 Lyn	0,85	12	+1	−134	+8,9	158	+24	185
ε CMa	−0,21	5	+3	−3	+27,4	240	−11	186
σ CMa	1,72	12	−3	0	+21,5	239	−10	
o² CMa	−0,08	6	0	0	+48,4	236	−8	
ζ Gem	0,90	4	−4	−3	+6,7 v	196	+12	187
γ CMa	−0,11	8	+3	−8	+30,5 v	228	−4	
δ CMa	0,67	3	−4	+3	+34,3 v	238	−8	
γ² Vol	0,91	9	+21	+103	+2,8	282	−24	188
τ Gem	1,26	5	−26	−48	+22	187	+17	189
δ Mon	0,00	15	−1	+6	+15	216	+4	190
I Pup	−0,14	1	−5	−3	+41	262	−10	
L² Pup	1,6 v	16	+104	+326	+53	256	−15	191
EW CMa	−0,20	5	−11	+4	+0 v	239	−7	192
ω CMa	−0,18	8	−9	+3	+26 v?	239	−7	193
π Pup	1,62	25	−6	+5	+15,8	249	−11	194
λ Gem	0,12	38	−43	−43	−9,2	221	+13	
δ Vol	0,79	6	−3	−26	+22,6	279	−23	
UW CMa	−0,15	1	−7	−3	−11 v	238	−5	195
τ CMa	−0,15	1	−10	+7	+43 v	238	−6	196
δ Gem	0,34	60	−19	−15	+4,1 v	196	+16	197
η CMa	−0,09	12	−7	+4	+41,1	243	−6	198
ι Gem	1,04	31	−117	−89	+8,4	191	+19	
β CMi	−0,09	20	−50	−42	+22,0 v	210	+12	199
γ CMi	1,43	16	−62	+14	+47 v	209	+12	200
ρ Gem	0,32	57	+154	+154	−5,7	187	+21	201
σ Pup	1,52	16	−66	+183	+87,6 v	256	−12	202
2906 Pup	0,51	53	−43	+41	+61,1	238	−1	
α Gem	0,04	70	−165	−110	+4 v	187	+22	203
υ Gem	1,54	12	−33	−109	−20,6	193	+21	
κ Pup	−0,19	10 dyn	−25	+10	+24	242	−2	204
α CMi	0,42	87	−706	−1032	−3,6 v	214	+13	205
α Mon	1,02	21	−75	−22	+10,5	227	+7	
σ Gem	1,12	17	+70	−235	+46 v	191	+23	206
ζ Vol	1,04	14	+26	+12	+48,1	285	−22	207
3 Pup	0,18	19	−9	−5	+25 v	244	−3	208
κ Gem	0,92	27	−27	−54	+20,6	196	+22	209
β Gem	1,00	93	−623	−52	+3,5	192	+23	210

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
c Кормы	$3^m,61$	K5 I	$7^h44^m21^s,8$	$+2^s,14$	−37°54′26″	−8″,8
o Кормы	4,50	B1 IVne	47 02,8	+2,49	−25 52 27	−8,9
ξ Кормы	3,35	G3 Ib	48 14,5	+2,52	−24 47 46	−9,1
P Кормы	4,11	B0,5 III	48 28,5	+1,83	−46°18′35″	−9,1
α Кормы	3,71	G5 III	51 21,4	+2,06	−40 30 38	−9,4
b Кормы	4,49	B3 V	51 45,5	+2,12	−38 47 51	−9,3
J Кормы	4,24	B1 Ib	52 34,1	+1,76	−48 02 14	−9,4
e Кормы	4,20	F8 II	55 47,0	+2,58	−22 48 45	−9,7
χ Киля	3,46	B2 IV	56 08,6	+1,52	−52 54 53	−9,7
G Малого Пса	4,38	K2 III	8 00 57,9	+3,12	+02 24 15	−10,0
ζ Кормы	2,25	O5	02 42,3	+2,11	−39 55 55	−10,2
ρ Кормы	2,81 v	F6 II	06 28,7	+2,56	−24 13 53	−10,5
ζ Единорога	4,32	G0	07 20,3	+3,01	−02 54 36	−10,6
ε Летучей Рыбы	4,34	B5	07 51,3	+0,19	−68 32 37	−10,6
16 Кормы	4,40	B5 V	07 54,6	+2,68	−19 10 16	−10,6
γ^1 Парусов	4,21	B3	08 43,0	+1,85	−47 16 14	−10,6
γ^2 Парусов	1,83 v	WN7	08 45,7	+1,85	−47 15 44	−10,7
NS Кормы	4,45 v	cK	10 27,9	+2,14	−39 32 36	−10,7
h^2 Кормы	4,43	K0 I	13 09,6	+2,13	−40 16 15	−11,0
β Рака	3,50 v?	K4 III	15 09,6	+3,25	+09 15 49	−11,2
q Кормы	4,45	A7 III	17 37,1	+2,25	−36 34 52	−11,2
α Хамелеона	4,06	F5	19 11,8	−1,55	−76 50 28	−11,4
31 Рыси	4,22 v	K5 III	21 07,8	+4,10	+43 16 10	−11,7
θ Хамелеона	4,34	K0 III	21 25,2	−1,84	−77 24 16	−11,6
ε Киля	1,82 v?	K0 II	22 00,1	+1,23	−59 25 43	−11,6
30 Единорога	3,90	A0 V	24 24,7	+3,00	−03 49 26	−11,8
β Летучей Рыбы	3,76 v?	K2 III	25 28,3	+0,65	−66 03 12	−12,0
o Б. Медведицы	3,30 v?	G5 II	28 12,0	+4,96	−60 48 11	−12,2
δ Гидры	4,14	A1 V	36 20,0	+3,17	+05 47 30	−12,6
e Парусов	4,14	A9 II	36 45,8	+2,11	−42 54 04	−12,7
σ Гидры	4,43	K2 III	37 27,1	+3,13	+03 25 48	−12,7
β Компаса	3,98	G5 III	39 07,4	+2,35	−35 13 08	−12,8
o Парусов	3,60 v	B3 III	39 34,6	+1,72	−52 49 58	−12,8
b Парусов	3,80 v?	F2 Ia	39 47,7	+1,99	−46 33 34	−12,9
V 343 Киля	4,32 v	B1 III	40 04,0	+1,32	−59 40 18	−12,9
η Гидры	4,28 v?	B3 V	41 55,1	+3,14	+03 29 21	−13,0
α Компаса	3,67 v?	B2 III	42 35,2	+2,41	−33 05 44	−13,0
δ Рака	3,94	K0 III	43 16,0	+3,41	+18 14 49	−13,3
d Парусов	4,09	G3 III	43 30,3	+2,14	−42 33 29	−13,0
δ Парусов	1,96	A0 V	44 00,8	+1,66	−54 36 59	−13,2
a Парусов	3,91	A0 III	45 10,8	+2,03	−45 56 59	−13,2
ι^1 Рака	4,02	G8 II	45 11,2	+3,62	+28 51 09	−13,3
12 Гидры	4,32	G8 III	45 11,6	+2,83	−13 27 20	−13,2
ε Гидры	3,38	G0 III	45 27,2	+3,18	+06 30 41	−13,3
ρ Гидры	4,37	A0 Vn	47 06,6	+3,18	+05 55 51	−13,4
γ Компаса	4,01	K3 III	49 28,2	+2,55	−27 36 50	−13,4
ζ Гидры	3,10	K0 II	54 04,4	+3,17	+06 02 30	−13,8
c Киля	3,84	B8 II	54 29,0	+1,36	−60 32 55	−13,8
α Рака	4,20 v?	A5 III	57 07,3	+3,28	+11 57 19	−14,0
ι Б. Медведицы	3,12 v?	A7 V	57 30,2	+4,10	+48 08 27	−14,2
10 Б. Медведицы	3,97	F5 V	59 01,4	+3,89	+41 52 58	−14,4
w Парусов	4,45	F8 III	59 09,3	+2,24	−41 09 21	−14,1
κ Б. Медведицы	3,60	A1 V	9 01 55,5	+4,08	+47 15 23	−14,3
α Летучей Рыбы	4,00	A5 V	02 03,4	+0,94	−66 17 46	−14,4
c Парусов	3,75	K2 III	03 17,4	+2,07	−46 59 52	−14,4
G Киля	4,47	F6 II	05 05,8	+0,14	−72 30 08	−14,5
λ Парусов	2,21 v	K4 Ib	07 04,5	+2,21	−43 19 52	−14,6
f Б. Медведицы	4,48	A3p	07 07,0	+4,23	+51 42 23	−14,6
V 357 Киля	3,43 v	B2 IV	10 18,5	+1,58	−58 51 51	−14,8
i Киля	3,96	B3 IV	10 42,7	+1,36	−62 12 51	−14,8
β Киля	1,68	A1 V	12 56,0	+0,65	−69 36 51	−14,8
θ Гидры	3,88 v?	B9,5 V	13 03,9	+3,12	+02 25 14	−15,3
g Киля	4,32 v?	gK5	15 29,8	+1,70	−57 26 11	−15,1
ι Киля	2,23 v?	F0 Ib	16 25,3	+1,61	−59 10 12	−15,1
38 Рыси	3,82	A3 V	17 17,6	+3,72	+36 54 33	−15,3
α Рыси	3,12 v?	M0 III	19 32,2	+3,65	+34 29 57	−15,3
κ Парусов	2,50	B2 IV	21 20,3	+1,86	−54 54 13	−15,4
κ Льва	4,46 v?	K2 III	23 12,1	+3,49	+26 17 27	−15,6

Звезда	B—V	π, 0".001	μ_α, 0".001	μ_δ, 0".001	V_r, км/с	l	b	Примечание
c Pup	$1^m,73$	1	−15	−1	+17	251°	−7°	
o Pup	−0,05	—	−11	+2	+11 v	242	−0	211
ξ Pup	1,25	4	−5	−2	+2,7 v	241	+0	212
P Pup	−0,18	2	−10	+1	+24	260	−10	213
α Pup	1,05	27	−16	+3	+24,0 v	255	−7	214
b Pup	−0,19	6	−11	−8	−21 v	254	−6	
J Pup	−0,14	1	−5	−3	+41	262	−10	
e Pup	0,72	15	−28	+5	+14	241	+3	
χ Car	−0,18	14	−34	+20	+19,0	267	−12	
G CMi	1,25	18	−31	+102	+70,1	219	+17	
ζ Pup	−0,27	4	−31	+12	−24,0	256	−5	
ρ Pup	0,43	24	−86	+47	+46,6 v	243	+4	215
ζ Mon	0,97	2	−19	−6	+30	225	+16	216
ε Vol	−0,12	5	−27	+21	+10 v	282	−19	217
16 Pup	−0,15	8	−16	−9	+19 v	239	+7	
γ^1 Vel	−0,24	5	−13	−9	−18,0 v	263	−8	218
γ^2 Vel	−0,25	7	−10	+4	−18,0 v	263	−8	219
NS Pup	1,62	−1±9	−8	−6	+16 v	256	−3	220
h^2 Pup	1,17	4	+39	−70	−14 v	257	−3	221
β Cnc	1,48	20	−46	−51	+21,6	214	+23	
q Pup	0,22	33	−110	+93	+5,1	255	−0	
α Cha	0,40	46	+106	+106	−13,6	290	−22	
31 Lyn	1,55	19	−14	−103	+24,4	177	+34	
θ Cha	1,15	25	−134	+34	+22	290	−22	222
ε Car	1,29	10	−28	+12	+12 v	274	−13	223
30 Mon	−0,20	20	−66	−26	+10,0	228	+19	
β Vol	1,12	30	−27	−159	+27,4	280	−16	
o UMa	0,85	4	−129	−113	+19,8 v	156	+35	
δ Hya	−0,00	27	−69	−13	+11	220	+26	
e Vel	0,10	14	−13	0	+18,7	262	−1	
σ Hya	1,20	22	−21	−20	+24,5	223	+25	
β Pyx	0,93	11	+13	−18	−15	256	+4	224
o Vel	−0,18	7	−36	+14	+16,5 v	270	−7	
b Vel	0,70	23	−12	−3	25,3 v	265	−3	225
V 343 Car	−0,12	2	−5	−7	+13 v	276	−11	226
η Hya	−0,20	8	−18	−5	+21 v	223	+26	
α Pyx	−0,18	6	−15	+11	+15,3	255	+6	227
δ Cnc	1,08	15	−14	−236	+17,1	208	+33	228
d Vel	0,88	43	−19	+16	−2,7	262	+0	229
δ Vel	0,04	43	+17	−84	+2	272	−7	230
a Vel	0,00	−4	−10	−5	+24	265	−2	
ι^1 Cnc	1,03	23	−20	−47	+16,0	196	+37	231
12 Hya	0,90	8	+15	−15	−8 v	239	+18	232
ε Hya	0,68	10	−191	−54	+36 v	221	+29	233
ρ Hya	−0,05	9	−19	−37	+33 v	222	+29	234
γ Pyx	1,26	22	−129	+83	+24,5	252	+10	
ζ Hya	1,00	29	−100	+11	+22,8	222	+30	
c Car	−0,11	13	−17	+42	+25,0	278	−10	235
α Cnc	1,16	18	+35	−37	−13,8	216	+34	236
ι UMa	0,19	66	−442	−24	+6,8 v	171	+41	237
10 UMa	0,43	74	−436	−255	+27,2 v	180	+41	238
w Vel	0,65	27	−44	+41	−6,5 v	263	+3	239
κ UMa	0,00	10	−31	−62	+4,0	173	+42	240
α Vol	0,14	47	−2	−104	+4,9 v	283	−13	241
c Vel	1,24	16	−56	−16	+24,3	268	−0	
G Car	0,61	16	+9	−11	+22	288	−17	
λ Vel	1,65	15	−25	+7	+18,4	266	+3	242
f UMa	0,27	33	−134	−42	−0	167	+42	
V 357 Car	−0,19	13	−28	+2	+23,3 v	278	−7	
i Car	−0,19	13	−43	+3	+18	280	−10	
β Car	0,00	38	−154	+98	−5	286	−14	
θ Hya	−0,07	20	+130	−315	−9 v	229	+33	243
g Car	1,63	18	−16	−13	−5	277	−6	
ι Car	0,18	8	−19	−1	+13,	278	−7	
38 Lyn	0,06	33	−30	−129	+2 v	187	+44	244
α Lyn	1,55	21	−217	+13	+37,6	190	+45	
κ Vel	−0,18	7	−12	+1	+21,9 v	276	−4	245
κ Leo	1,23	12	−28	−50	+28,2	202	+44	246

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
α Гидры	$1^m,93$ v?	K3 IIIa	$9^h26^m21^s,5$	$+2^s,95$	−08°32′58″	−15″,7
ε Насоса	4,51	M0 III	28 12,7	+2,48	−35 50 30	−15,8
h Б. Медведицы	3,65 v?	F0 IV	29 34,5	+4,70	+63 10 20	−15,9
ψ Парусов	3,60 v?	F2 IV	29 42,8	+2,36	−40 21 24	−15,8
λ Льва	4,28 v?	K5 III	30 17,8	+3,42	+23 04 44	−15,9
N Парусов	3,10 v	K5 III	30 27,7	+1,82	−56 55 25	−15,9
θ Б. Медведицы	3,18	F6 IVp	31 11,6	+4,00	+51 47 32	−16,5
3751 Жирафа	4,30	K3 III	33 38,6	+8,37	+81 26 20	−16,1
h Киля	4,08	B5 III	33 43,1	+1,74	−59 07 04	−16,1
M Парусов	4,35	dA 5	35 55,9	+2,16	−49 14 33	−16,2
ι Гидры	3,88 v?	K3 III	38 34,8	+3,06	−01 01 43	−16,4
ο Льва	3,50	A5 V	39 49,0	+3,20	+10 00 24	−16,4
ε Льва	2,98	G0 II	44 26,1	+3,40	+23 53 24	−16,7
l Киля	3,40 v	cG2	44 33,6	+1,65	−62 23 32	−16,6
υ Киля	2,96	A9 II	46 28,7	+1,50	−64 57 20	−16,7
υ Б. Медведицы	3,81	F2 IV	49 13,5	+4,24	+59 09 26	−17,0
υ¹ Гидры	4,11	G8 III	50 16,5	+2,88	−14 43 43	−16,9
μ Льва	3,88	K2 III	51 20,7	+3,41	+26 07 31	−17,0
φ Парусов	3,54	B5 II	55 59,0	+2,11	−54 26 54	−17,2
21 Малого Льва	4,47 v?	A7 V	10 05 57,5	+3,53	+35 22 02	−17,6
η Льва	3,53 v	A0 Ib	05 58,3	+3,27	+16 53 06	−17,6
A Льва	4,37	K4 III	06 34,7	+3,18	+10 07 14	−17,7
α Секстанта	4,50	A0 III	06 39,5	+3,07	−00 14 56	−17,6
α Льва	1,33 v?	B7 V	07 02,5	+3,19	+12 05 24	−17,7
λ Гидры	3,61	K0 III	09 22,1	+2,93	−12 13 48	−17,8
ω Киля	3,31	B7 IV	13 08,8	+1,43	−69 54 49	−17,9
q Парусов	3,85 v?	A2 V	13 41,0	+2,52	−41 59 52	−17,9
ζ Льва	3,44	F0 III	15 18,1	+3,33	+23 32 33	−18,0
λ Б. Медведицы	3,45 v	A2 IV	15 35,7	+3,61	+43 02 23	−18,0
V 337 Киля	3,42 v	K5 Ib	16 14,8	+2,01	−61 12 26	−18,0
γ Льва	1,84 v?	K0 III	18 35,8	+3,30	+19 58 07	−18,3
I Парусов	4,50	B5 IVe	19 58,8	+2,23	−55 55 01	−18,1
μ Б. Медведицы	2,99 v?	M0 III	20 50,7	+3,56	+41 37 32	−18,2
I Киля	4,00	F3 IV	23 54,2	+1,18	−73 54 15	−18,3
μ Гидры	3,79	K5 III	24 52,8	+2,90	−16 42 30	−18,4
α Насоса	4,22 v?	K4,5 III	26 00,3	+2,75	−30 56 24	−18,4
β Малого Льва	4,20	G8 III	26 26,5	+3,46	+36 50 09	−18,5
s Киля	3,82	F0 II	26 57,5	+2,21	−58 36 42	−18,4
PP Киля	3,28 v	B5 Ve	31 07,9	+2,14	−61 33 23	−18,5
ρ Льва	3,85 ц	B1 Ib	31 29,7	+3,16	+09 26 08	−18,6
r Киля	4,45	gK3	34 37,4	+2,31	−57 25 41	−18,6
γ Хамелеона	4,10 v?	M0 III	35 11,2	+0,69	−78 28 41	−18,7
p Парусов	3,83	F3 V+A1 V	36 14,8	+2,52	−48 05 44	−18,7
κ Парусов	4,27	G2 II	38 18,5	+2,39	−55 28 23	−18,8
θ Киля	2,76	O9,5 V	42 03,7	+2,15	−64 15 47	−18,9
δ² Хамелеона	4,45	B2 IV	45 34,2	+0,53	−80 24 30	−19,0
μ Парусов	2,69	G5 III	45 41,4	+2,59	−49 17 15	−19,0
ν Гидры	3,11	K2 III	48 23,4	+2,96	−16 03 45	−18,9
o Малого Льва	3,80	K1 III	51 55,0	+3,35	+34 21 00	−19,4
u Киля	3,75 v?	K0 III—IV	52 28,4	+2,44	−58 43 13	−19,1
54 Льва	4,32	A1 V	54 15,7	+3,24	+24 53 00	−19,2
α Чаши	4,07	K0 III	58 33,3	+2,92	−18 09 55	−19,2
i Парусов	4,39	A2 IV	59 00,2	+2,76	−42 05 29	−19,3
β Б. Медведицы	2,35 v?	A1 V	11 00 20,5	+3,60	+56 31 00	−19,3
b Льва	4,42	A1 V	00 59,8	+3,20	+20 18 51	−19,4
α Б. Медведицы	1,79 v?	K0 III	02 11,8	+3,68	+61 53 10	−19,5
κ Киля	3,84 v?	G0 Ia	07 31,0	+2,57	−58 50 22	−19,5
ψ Б. Медведицы	3,01	K1 III	08 15,8	+3,36	+44 38 04	−19,6
β Чаши	4,48	A2 III	10 25,6	+2,95	−22 41 21	−19,7
δ Льва	2,54 v?	A4 V	12 46,8	+3,19	+20 39 39	−19,8
θ Льва	3,35	A2 V	12 55,7	+3,15	+15 33 59	−19,7
φ Льва	4,47	A7 IV	15 23,4	+3,05	−03 30 53	−19,7
ξ Б. Медведицы	3,79	G0 V	16 51,1	+3,19	+31 40 12	−20,3
ν Б. Медведицы	3,49	K3 III	17 07,9	+3,23	+13 13 51	−19,7
δ Чаши	3,56	G8 III	18 05,3	+3,00	−14 38 35	−19,5
σ Льва	4,05	B9,5 V	19 50,8	+3,09	+06 09 59	−19,7

Звезда	B—V	π, 0",001	μ_α, 0",001	μ_δ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
α Hya	1^m,45	20	−15	+30	−4,6	241	+29	247
ε Ant	1,44	9	−27	−9	+22,2	263	+11	
h UMa	0,33	37	+110	+24	−9,5	151	+42	248
ψ Vel	0,36	52	−192	+68	+5	267	+8	249
λ Leo	1,54	20	−23	−44	+26 v?	207	+45	
N Vel	1,56	17	−36	−1	−13,9	278	−4	250
θ UMa	0,46	54	−950	−542	+13 v	165	+46	251
3751 Cam	1,48	14	−15	−22	−5	131	+33	
h Car	0,01	5	−12	+7	+22	280	−5	
M Vel	0,17	19	−112	+22	+21	274	+2	252
ι Hya	1,32	21	+47	−69	+23,2 v?	236	+36	
o Leo	0,49	28	−142	−41	27,0 v	225^c	+42	253
ε Leo	0,81	7	−44	−18	4,7	207	+48	
I Car	1,26	19	−15	+7	+3,5 v	283	−7	254
υ Car	0,26	20	−11	+4	+14	285	−9	255
υ UMa	0,29	39	−292	−158	+30,7	154	+46	256
υ¹ Hya	0,92	16	+19	−29	−15	251	+29	
μ Leo	1,22	22	−218	−59	+13,8	204	+50	
φ Vel	−0,09	8	−14	+2	+13,9	279	+0	257
21 LMi	0,25	27	+52	−2	−18 v?	189	+54	
η Leo	−0,04	2	−1	−8	+3,2	220	+51	
A Leo	1,45	13	−81	−66	+41	229	+48	
α Sex	−0,04	8	−16	−13	+7	241	+42	
α Leo	−0,11	40	−248	+1	+5.0	226	+49	258
λ Hya	1,00	18	−204	−93	+19,4 v	253	+34	259
ω Car	−0,08	16	−28	+0	+4,5 v	290	−11	260
q Vel	0,05	29	−152	+31	+7 v	274	+12	261
ζ Leo	0,41	22	+19	−13	−15,5 v	210	+55	
λ UMa	0,03	28	−164	−45	+18,3	176	+55	
V 337 Car	1,56	20	−23	+1	+8,6	286	−4	
γ Leo	1,15	19	+307	−152	−37	217	+55	262
I Vel	−0,12	8	−16	−4	+11	283	+1	263
μ UMa	1,59	28	−82	+25	−20,4	178	+56	264
I Car	0,36	76	−16	−32	−4,0	293	−14	
μ Hya	1,48	15	−128	−81	+39,6	260	+34	
α Ant	1,45	15	−77	+8	+13,3 v	270	+22	
β LMi	0,90	21	−120	−110	+5,7 v	186	+58	
s Car	0,31	6	−15	−11	+9,3	285^c	+1	
PP Car	−0,10	12	−21	+0	+26,0	287	−3	265
ρ Leo	−0,14	5	−7	−6	+42	235	+53	
r Car	1,62	19	−19	−10	+10 v?	285	+1	
γ Cha	1,58	8	−39	+11	−22,4	296	−18	
p Vel	0,30	33	−152	−26	+21,2 v	281	+9	266
x Vel	1,03	13	−17	−10	+20,1	285	+3	267
θ Car	−0,22	7	−17	+7	+24,0 v	290	−5	
δ² Cha	−0,19	6	−33	0	+22,5	298	−19	
μ Vel	0,90	22 dyn	+64	−56	+5	283	+9	268
ν Hya	1,24	16	+19	−29	−15	251	+29	
o LMi	1,04	17	+90	−286	+16,1	190	+64	
u Car	0,94	50	+70	+20	+9	288	+1	
54 Leo	0,02	15 dyn	−72	−18	+4	212	+64	269
α Crt	1,09	24	−461	+123	+46,8	269	+37	
l Vel	0,11	10	+18	0	−5,1	282	+16	
β UMa	−0,02	45	+83	+29	−12,0 v	149	+55	270
b Leo	0,05	11	−10	+30	−10	223	+64	
α UMa	1,07	31	−119	−70	−9 v	143	+51	271
x Car	1,24 v	1	−7	−11	+7,3 v	290	+1	272
ψ UMa	1,14	36	−63	−35	−3,8	166	+63	
β Crt	0,03	40	+0	−104	+6,4 v	275	+35	
δ Leo	0,12	50	+146	−138	−20,6 v?	224	+67	
θ Leo	−0,02	23	−59	−85	+7,8	235	+65	
φ Leo	0,21	18	−112	−41	−3,0	263	+52	
ξ UMa	0,59	127	−431	−593	−16 v	195	+69	273
ν UMa	1,40	18	−25	+21	−9,2	191	+69	274
δ Crt	1,11	24	−125	+199	−5,2	272	+42	
σ Leo	−0,06	17	−94	−17	−5,3 v	253	+60	

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1978}	Годовое изменение α	δ_{1978}	Годовое изменение δ
π Кентавра	3^m,88	B5 V	$11^h19^m51^s$,6	+2^s,75	−54°21′14″	−19″,7
ι Льва	3,93 v?	F2 IV	22 37,3	+3,13	+10 40 01	−20,0
γ Чаши	4,08	A7 IV	23 37,8	+3,00	−17 32 48	−19,8
λ Дракона	3,78 v?	M0 III	29 56,2	+3,53	+69 28 09	−19,9
ξ Гидры	3,54	G7 III	31 46,1	+2,96	−31 43 09	−19,9
λ Кентавра	3,13	B9 II	34 37,2	+2,78	−62 52 53	−19,9
υ Льва	4,30	G9 III	35 40,1	+3,07	−00 41 08	−19,9
λ Мухи	3,64 (v?)	A7 II	44 25,1	+2,85	−66 35 24	−20,0
ν Девы	4,00 v?	M1 III	44 34,4	+3,08	+06 40 10	−20,2
χ Б. Медведицы	3,69 v?	K0 III	44 44,1	+3,16	+47 55 05	−20,0
65G Кентавра	4,10	G3 III	45 17,7	+2,92	−61 02 22	−20,0
β Льва	2,09 v?	A3 V	47 47,1	+3,06	+14 42 42	−20,1
j Кентавра	4,31	B3 V	48 27,5	+2,94	−63 38 58	−20,0
β Девы	3,60	F8 V	49 23,5	+3,13	+01 54 20	−20,3
B Кентавра	4,46	K4 III	49 53,2	+3,01	−45 02 04	−20,0
β Гидры	4,28 v	B9 IV	51 38,5	+3,03	−33 46 08	−20,0
γ Б. Медведицы	2,41 v?	A0 V	52 31,3	+3,14	+53 50 01	−20,0
θ¹ Южного Креста	4,32	A5 mp	12 01 44,6	+3,06	−63 10 26	−20,0
ο Девы	4,12	G8 III	03 56,1	+3,06	+08 52 18	−20,0
η Юж. Креста	4,14	F0 III	05 34,0	+3,14	−64 28 28	−20,0
4618 Кентавра	4,47	B6 III	06 47,0	+3,11	−50 31 20	−20,1
δ Кентавра	2,65 v	B2 V	07 03,3	+3,12	−50 35 00	−20,0
α Ворона	4,02	F2 V	07 07,2	+3,09	−24 35 22	−20,1
ε Ворона	2,98 v?	K2 III	08 50,1	+3,09	−22 28 51	−20,0
ρ Кентавра	3,96	B4 V	10 20,2	+3,14	−52 13 46	−20,1
δ Юж. Креста	2,78 v?	B2 IV	13 48,5	+3,20	−58 36 36	−20,0
δ Б. Медведицы	3,27 v?	A3 V	14 11,7	+2,96	+57 10 17	−20,0
γ Ворона	2,56 v?	B8 III	14 31,0	+3,09	−17 24 12	−20,0
ε Мухи	4,16 v	M5 III	16 12,4	+3,24	−67 49 18	−20,0
β Хамелеона	4,24 v?	B6 V	16 51,0	+3,57	−79 10 25	−20,0
ζ Южного Креста	4,04	B3 IV—V	17 04,2	+3,25	−63 51 52	−20,0
η Девы	3,86 v?	A2 V	18 37,5	+3,07	−00 31 41	−20,0
ε Южного Креста	3,58 v?	K3 II	20 00,0	+3,28	−60 15 48	−20,0
α¹ Южного Креста	0,79	B1 IV	25 11,7	+3,36	−62 57 39	−19,9
γ Волос Береники	4,37	K1 III	25 41,6	+2,99	+28 24 26	−20,0
σ Кентавра	3,91	B2 V	26 40,8	+3,26	−50 05 33	−19,9
δ Ворона	2,93 v?	B9 V	28 34,1	+3,11	−16 22 35	−20,0
γ Южного Креста	1,60 v?	M3 II	29 46,1	+3,34	−56 58 24	−20,1
η Ворона	4,29 v?	F0 IV	30 46,7	+3,09	−16 03 28	−19,9
γ Мухи	3,86	B5 V	30 57,3	+3,62	−71 59 42	−19,9
κ Дракона	3,89 v?	B5 III	32 25,4	+2,55	+69 55 33	−19,8
β Гончих Псов	4,24 v?	G0 V	32 33,5	+2,84	+41 29 35	−19,6
β Ворона	2,60 v?	G5 III	33 04,2	+3,16	−23 15 31	−19,9
α Мухи	2,68 v?	B3 IV	35 40,6	+3,61	−68 59 53	−19,8
τ Кентавра	3,86	A2 V	36 19,6	+3,28	−48 24 14	−19,8
γ Кентавра	2,17	A0 III	40 07,8	+3,32	−48 49 22	−19,7
γ Девы	2,72 v?	F0 V	40 23,5	+3,04	−01 18 45	−19,7
β Мухи	3,04	B2,5 V	44 43,9	+3,68	−67 58 18	−19,7
β Юж. Креста	1,25 v	B0,5 IV	46 14,9	+3,52	−59 33 09	−19,7
e Кентавра	4,33	K2 II	51 41,5	+3,42	−48 48 27	−19,6
n Кентавра	4,27	A7 III	52 02,8	+3,33	−40 02 36	−19,6
ε Б. Медведицы	1,77 v	A0 V	52 56,0	+2,63	+56 05 43	−19,5
μ Южного Креста	4,03	B3 IVe	53 06,8	+3,53	−57 02 33	−19,6
δ Девы	3,32 v?	M3 III	54 20,6	+3,02	+03 31 59	−19,5
α² Гончих Псов	2,84 v	B9,5 I	54 51,6	+2,80	+38 27 11	−19,4
δ Мухи	3,61	K2 III	13 00 31,7	+4,17	−71 24 52	−19,4
ε Девы	2,65 v?	G9 II	00 55,9	+2,99	+11 05 35	−19,3
ξ² Кентавра	4,26	B2 V	05 26,5	+3,52	−49 46 22	−19,2
θ Девы	4,38	A1 V	08 39,2	+3,11	−05 24 21	−19,2
β Волос Береники	4,26	G0 V	10 42,4	+2,80	+28 00 16	−18,2

Звезда	$B-V$	π, 0".001	μ_α, 0".001	μ_δ, 0".001	V_r, км/с	l	b	Примечание
π Cen	$-0^m,16$	11	−33	−13	+12 *v*	290°	+6°	275
ι Leo	0,41	47	+169	−81	−11 *v*	248	+64	276
γ Crt	0,21	25	−106	−1	+1,0	275	+41	277
λ Dra	1,62	21	−40	−22	+6,6	133	+46	
ξ Hya	0,93	23	−210	−47	+4,6	284	+28	
λ Cen	−0,04	26	−34	−19	+8	294	−1	278
υ Leo	1,01	16	+3	+38	+1,2	267	+57	
λ Mus	0,16	48	−92	+27	+16,3	297	−5	279
ν Vir	1,50	13	−18	−188	+50,7	263	+64	
χ UMa	1,18	18	−138	+19	−8,8	150	+66	
65G Cen	0,90	6	−26	−27	−4	295	+1	
β Leo	0,08	76	−496	−122	−0,6	251	+71	280
j Cen	−0,16	7	−21	−9	+37 *v*	296	−2	
β Vir	0,55	99	−742	−277	+4,6	270	+61	
B Cen	1,30	16	−88	−15	+2,2	292	+16	
β Hya	−0,10	10 dyn	−55	−2	−1	289	+27	281
γ UMa	0,00	23	+93	+4	−12,5	141	+61	282
θ¹ Cru	0,28	14	−146	−5	−2 *v*?	298	+1	283
o Vir	0,99	35	−221	+42	−29,8	270	+69	
η Cru	0,34	46	+34	−46	−9 *v*?	298	−2	284
4618 Cen	−0,15	8	−41	−19	+17	296	+12	285
δ Cen	−0,09	18	−37	−20	+10,0 *v*	296	+12	286
α Crv	0,32	53	+83	−48	+4	291	+37	
ε Crv	1,34	23	−69	+7	+5	291	+39	
ρ Cen	−0,15	26	−41	−26	+21 *v*	297	+10	
δ Cru	−0,24	6	−37	−17	+24,0	298	+4	
δ UMa	0,08	52	+106	+3	−12,9	133	+59	287
γ Crv	−0,11	22	−162	+15	−4,2 *v*	291	+45	
ε Mus	1,56	38	−234	−36	+7 *v*	300	−5	
β Cha	−0,13	15	−34	+8	+23,0	301	−17	
ζ Cru	−0,18	5	−44	−23	+19	299	+1	
η Vir	0,02	13	−63	−25	+3,7 *v*	286	+61	288
ε Cru	1,42	17	−176	+74	−5	299	+2	289
α¹ Cru	−0,26	9	−32	−27	+7,5 *v*	300	0	290
γ Com	1,13	2	−84	−88	+4	200	+84	
σ Cen	−0,19	6	−26	−26	+10 *v*	299	+12	291
δ Crv	−0,05	20	−210	−145	+9,0 *v*	295	+46	292
γ Cru	1,60	15	+25	−273	+21,3	300	+6	293
η Crv	0,37	44	−428	−67	−4 *v*	296	+46	294
γ Mus	−0,16	12	−44	−12	+14 *v*?	301	−9	
κ Dra	−0,14	9	−58	+7	−11,4 *v*	125	+47	295
β CVn	0,59	108	−705	+284	+6,7 *v*	136	+75	296
β Crv	0,88	31	+4	−59	−7,0	298	+39	297
α Mus	−0,20	13	−32	−18	+14 *v*	302	−6	298
τ Cen	0,05	18	−190	−15	+5	301	+14	299
γ Cen	−0,01	6	−196	−15	−8 *v*	301	+14	300
γ Vir	0,36	101	−567	+5	−20	299	+61	301
β Mus	−0,19	15 dyn	−28	−30	+42 *v*	302	−5	302
β Cru	−0,23	7	−41	−26	+18 *v*	302	+3	303
e Cen	1,37	13	−89	−29	−2 *v*?	303	+14	
n Cen	0,21	39	+68	−32	−2,5	303	+23	
ε UMa	−0,02	8	+113	−11	−8,8 *v*	122	+61	304
μ Cru	−0,17	5	−30	−18	+16	303	+6	305
δ Vir	1,59	17	−469	−60	−17,8	306	+66	
α² CVn	−0,11	33	−236	+55	−4 *v*	118	+79	306
δ Mus	1,18	23	+273	−38	+36,6 *v*	304	−9	307
ε Vir	0,94	36	−274	+16	−14	312	+74	308
ξ² Cen	−0,19	4	−30	−18	−14,3 *v*	305	+13	309
θ Vir	−0,01	22	−36	−39	−2,9 *v*	311	+57	310
β Com	0,58	120	−799	+876	+6,1	43	+86	

Название звезды	Звездная величина *V*	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
γ Гидры	2^m,94 *v*?	G8 III	$13^h17^m33^s$,5	$+3^s$,27	−23°02′25″	−19,″0
ι Кентавра	2,73	A2 V	19 11,2	+3,38	−36 34 51	−18,9
ζ Б. Медведицы	2,07	A2 Vp	22 55,3	+2,41	+55 03 20	−18,8
α Девы	0,97 *v*	B1 V	23 52,4	+3,16	−11 01 53	−18,7
g Б. Медведицы	3,95 *v*?	A5 V	24 13,6	+2,40	+55 07 04	−18,7
R Гидры	3,5 *v*	M7 IVe	28 20,5	+3,28	−23 09 09	−18,6
d Кентавра	3,88	G8 III	29 35,3	+3,48	−39 16 44	−18,6
ζ Девы	3,38	A3 V	33 25,0	+3,06	−00 28 07	−18,4
ε Кентавра	2,30 *v*	B1 V	38 17,6	+3,82	−53 20 24	−18,2
1 Кентавра	4,23	F2 III	44 15,7	+3,42	−32 55 04	−18,2
τ Волопаса	4,46 *v*?	F7 V	46 04,4	+2,85	+17 34 50	−17,9
η Б. Медведицы	1,83 *v*?	B3 V	46 33,4	+2,36	+49 26 15	−17,9
g Кентавра	4,19 *v*	M4 IIIab	47 59,4	+3,48	−34 19 36	−18,0
ν Кентавра	3,40 *v*?	B2 IV	47 59,9	+3,60	−41 33 50	−17,9
μ Кентавра	2,94 *v*	B2 V:	48 06,2	+3,63	−42 20 59	−17,9
υ Волопаса	4,02 *v*?	K5 III	48 16,2	+2,89	+15 55 16	−17,8
k Кентавра	4,32	B5 IIIp	50 22,6	+3,46	−32 52 16	−17,9
η Волопаса	2,69	G0 IV	53 29,6	+2,86	+18 31 20	−18,0
ζ Кентавра	2,54	B2 IV	53 58,3	+3,76	−47 09 57	−17,7
φ Кентавра	3,81 *v*?	B2 IV	56 44,6	+3,65	−41 58 46	−17,6
υ¹ Кентавра	3,87	B2 V	57 07,6	+3,72	−44 40 56	−17,5
υ² Кентавра	4,34	F7 I—II	14 00 09,3	+3,74	−45 28 59	−17,4
τ Девы	4,26	A3 V	00 22,3	+3,06	−01 39 53	−17,4
β Кентавра	0,59 *v*	B1 II	02 02,7	+4,26	−60 15 12	−17,3
α Дракона	3,64 *v*?	A0 III	03 42,7	+1,63	+64 29 42	−17,2
χ Кентавра	4,36	B2 V	04 30,7	+3,66	−41 03 38	−17,3
π Гидры	3,28	K2 III	04 56,6	+3,42	−26 33 46	−17,3
θ Кентавра	2,06	K0 III	05 12,3	+3,54	−36 14 52	−17,6
κ Девы	4,21	K3 III	11 33,5	+3,20	−10 09 29	−16,7
α Волопаса	−0,12 *v*?	K2 III	14 31,2	+2,74	+19 18 43	−18,7
ι Девы	4,04 *v*?	F7 III	14 42,0	+3,15	−05 52 55	−17,1
λ Волопаса	4,18	A0 IIIp	15 26,0	+2,28	+46 12 09	−16,5
ι Волка	3,53 *v*?	B3 IV	17 47,6	+3,84	−45 56 36	−16,6
ν Кентавра	4,32	B6 Ib	18 34,0	+4,21	−56 16 20	−16,5
ψ Кентавра	4,05	A0 IV	19 01,8	+3,66	−37 46 16	−16,5
V761 Кентавра	4,42 *v*	B7 IIIp	21 29,4	+3,70	−39 23 55	−16,5
δ Октанта	4,31	K1 V	22 43,6	+9,63	−83 33 20	−16,5
θ Волопаса	4,02 *v*?	F7 V	24 20,7	+2,04	+51 57 56	−16,6
τ² Волка	4,35	F7 II—III	24 33,8	+3,86	−45 16 02	−16,3
5 М. Медведицы	4,25	K4 III	27 33,6	−0,10	+75 48 25	−16,0
ρ Волопаса	3,56 *v*?	K3 III	30 45,1	+2,59	+30 28 50	−15,7
σ Волка	4,40	B2 IV	30 55,3	+4,04	−50 20 50	−16,0
γ Волопаса	3,02 *v*	A7 III	31 04,2	+2,41	+38 25 01	−15,7
σ Волопаса	4,45 *v*?	F2 V	33 35,5	+2,61	+29 51 11	−15,6
η Кентавра	2,31 *v*	B1,5 V; e	33 54,7	+3,82	−42 02 56	−15,7
ρ Волка	4,05 *v*	B5 V	36 11,7	+4,05	−49 19 04	−15,6
α Кентавра	0,06	G2 V	37 53,4	+4,10	−60 43 59	−14,8
ζ Волопаса	3,81	A2 III	39 57,2	+2,87	+13 50 05	−15,4
α Волка	2,30 *v*	B1 III	40 15,5	+4,00	−47 16 55	−15,4
b Кентавра	4,00	B3 V	40 24,0	+3,73	−37 41 14	−15,5
α Циркуля	3,19	F0 V	40 28,1	+4,88	−64 52 03	−15,6
μ Девы	3,88	F3 IV	41 44,4	+3,17	−05 33 01	−15,6
c¹ Кентавра	4,05	K5 III	42 07,3	+3,68	−35 04 01	−15,4
ε Волопаса	2,37	K0 II—III	43 53,7	+2,62	+27 10 44	−15,1
α Райской Птицы	3,82	K5 III	44 41,0	+7,57	−78 56 26	−15,1
109 Девы	3,70 *v*?	A0 V	44 59,0	+3,04	+01 56 50	−15,1
E Гидры	4,41	K4 II	48 48,9	+3,52	−27 51 26	−15,0
α² Весов	2,75 *v*?	A3 IV	49 29,5	+3,32	−15 56 20	−14,9
ο Волка	4,33	B6 III:	50 00,0	+3,92	−43 28 23	−14,9
β М. Медведицы	2,08 *v*?	K4 III	50 45,7	−0,15	+74 15 27	−14,7
16 Весов	4,49	F0 IV	55 52,5	+3,14	−04 14 44	−14,4
β Волка	2,68	B2 IV	56 53,1	+3,94	−43 02 04	−14,4
κ Кентавра	2,88 *v*?	B2 V	57 31,7	+3,91	−42 00 18	−14,4
β Волопаса	3,47 *v*?	G8 III	15 01 00,2	+2,26	+40 29 18	−14,1
110 Девы	4,40	K0 III	01 38,1	+3,03	+02 11 18	−14,1

Звезда	$B-V$	π, 0″,001	μ_α, 0″,001	μ_δ, 0″,001	V_r, км/с	l	b	Примечание
γ Hya	$0^m,92$	24	+69	−52	−5,4	311°	+35°	
ι Cen	0,04	48	−339	−92	+0,1	309	+26	
ζ UMa	0,02	37	+124	−28	−5,6 v	113	+62	311
α Vir	−0,23	19	−41	−35	+3,0 v	316	+51	312
g UMa	0,16	37	+119	−24	−8 v	113	+61	313
R Hya	1,61	—	−57	+8	−10	314	+39	314
d Cen	1,16	7	−16	−22	−2	311	+23	315
ζ Vir	0,12	36	−285	+34	−13,2	325	+60	
ε Cen	−0,22	10	−37	−32	−0,2 v	322	+17	
1 Cen	0,38	47	−460	−151	−23 v	316	+28	316
τ Boo	0,48	58	+483	+29	−15,6	359	+74	317
η UMa	−0,19	20	−122	−18	−10,9	101	+65	318
g Cen	1,49	49	−47	−64	+41	316	+27	319
ν Cen	−0,22	7	−26	−26	+9,v	314	+20	320
μ Cen	−0,16	9	−21	−24	+12,5 v	314	+19	321
υ Boo	1,52	10	−95	+34	−6	356	+72	
k Cen	−0,13	17 dyn	−38	−45	+14	317	+28	322
η Boo	0,58	102	−63	−365	+1,0 v	5	+73	323
ζ Cen	−0,22	13	−59	−48	+6,5 v	314	+14	324
φ Cen	−0,21	5	−28	−26	+7 v	316	+19	
υ^{1} Cen	0,20	5	−30	−28	+7 v	315	+16	
υ^{2} Cen	0,60	8	−1	−28	−0,5 v	316	+16	325
τ Vir	0,10	15	+15	−26	−2,0 v?	339	+59	
β Cen	−0,24	14	−21	−28	−10 v	312	+1	326
α Dra	−0,05	12	−53	+14	−13,0 v	111	+51	327
χ Cen	−0,19	4	−22	−25	+12	318	+20	
π Hya	1,12	39	+43	−150	+27,2	323	+33	
θ Cen	0,99	62	−522	−522	+1,3	319	+24	
κ Vir	1,32	18	+4	+134	−4,0	333	+48	
α Boo	1,23	91	−1098	−2003	−5,3	15	+69	328
ι Vir	0,51	40	−10	−429	+11,5	338	+51	
λ Boo	0,08	35	−184	+154	−8,1	87	+65	
ι Lup	−0,18	7	−16	−6	+22	318	+14	
v Cen	0,12	2,1	−8	−18	+4,5 v?	315	+ 4	
ψ Cen	−0,03	16	−68	−14	−5,5 v	322	+22	329
V 761 Cen	−0,18	6	−31	−37	+8	321	+20	
δ Oct	1,31	16	−92	−14	+4,6	306	−21	
θ Boo	0,50	67	−238	−404	−10,9	94	+60	330
τ^{2} Lup	0,43	−3±9	+13	−16	−1,2 v	320	+14	331
5 UMi	1,44	17	+8	+18	+10,1	115	+40	332
ρ Boo	1,30	25	−101	+115	−13,7 v	47	+68	333
σ Lup	−0,20	4	−44	−17	−2	319°	+9°	
γ Boo	0,19	20	−115	+146	−36,0	67	+66	334
σ Boo	0,37	61	+187	+124	+0,3	46	+67	
η Cen	−0,19	11	−37	−32	−0,2 v	323	+17	335
ρ Lup	−0,15	14	−34	−25	+14,3	320	+10	336
α Cen	0,70	746	−3606	+705	+22,2 v	316	+1	337
ζ Boo	−0,02	7	+52	−26	−4,6	11	+61	338
α Lup	−0,20	9	−21	−26	+7,3 v	322	+11	339
b Cen	−0,17	7	−25	−38	+8 v	326	+20	340
α Cir	0,24	52	−187	−244	+7,3	314	−5	341
μ Vir	0,38	41	+106	−322	+5,4	347	+48	
c^{1} Cen	1,35	10	−70	−190	−38,3	327	+22	
ε Boo	0,97	13	−49	+14	−16,5	39	+65	342
α Aps	1,43	20	−2	−25	−0,1	308	−17	
109 Vir	−0,01	27	−114	−36	−20,8	355	+53	
E Hya	1,40	5	−242	−67	−9,9	333	+28	
α^{2} Lib	0,15	51	−107	−74	−10,0 v	340	+38	343
o Lup	−0,14	14	−22	−33	+7,4	325	+14	344
β UMa	−0,02	45	+83	+29	−12,0 v	149	+55	345
16 Lib	0,32	40	−103	−161	+21,6	352	+46	
β Lup	−0,21	10	−46	−48	+0,3 v	326	+14	346
κ Cen	−0,20	10	−17	−28	−9,1	327	+15	347
β Boo	0,97	24	−44	−39	−19,9	68	+60	
110 Vir	1,04	19	−57	+5	−16,4	0	+50	

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
σ Весов	3^m,27 v	M4 III	15^{h}02^{m}36^s,1	+3^s,52	−25°11′05″	−14″,1
π Волка	3,89	B5 IV	03 24,5	+4,09	−46 57 16	−14,1
λ Волка	4,05	B3 V	07 09,0	+4,04	−45 11 05	−13,9
ϰ¹ Волка	3,87	B9 V	10 11,3	+4,18	−48 38 39	−13,6
ζ Волка	3,40	G8 III	10 28,7	+4,33	−52 00 19	−13,6
δ Волопаса	3,44 v?	G8 III	14 29,6	+2,42	+33 24 26	−13,4
β Циркуля	4,06	A3 V	15 32,6	+4,72	−58 42 33	−13,3
β Весов	2,61	B8 V	15 39,5	+3,23	−09 17 30	−13,2
2 Волка	4,34	K0 II	16 18,2	+3,66	−30 03 29	−13,1
γ Юж. Треугольника	2,88	A1 V	16 33,2	+5,64	−68 35 19	−13,1
μ Волка	4,27	B8 IIn	16 47,1	+4,17	−47 47 04	−13,3
δ Волка	3,22 v	B2 IV	19 43,5	+3,95	−40 33 30	−12,9
φ¹ Волка	3,56	K5 III	20 12,8	+3,82	−36 10 19	−13,0
γ М. Медведицы	3,05 v	A3 II	20 45,3	−0,08	+71 55 22	−12,8
ε Волка	3,36	B3 IV	20 58,5	+4,07	−44 36 03	−12,9
μ¹ Волопаса	4,29 v?	F0 IV	23 32,7	+2,27	+37 27 50	−12,6
ι Дракона	3,29 v?	K2 III	24 22,1	+1,34	+59 03 11	−12,6
β Сев. Короны	3,68 v	F0 III	26 47,8	+2,47	+29 11 28	−12,3
θ Сев. Короны	4,13	B7 V	31 55,2	+2,42	+31 26 33	−12,1
γ Волка	2,78	B3 Vn	33 28,1	+4,01	−41 05 02	−12,0
δ Змеи	3,80 v	F0 IV	33 36,4	+2,87	+10 37 18	−11,9
α Сев. Короны	2,24 v	A0 V	33 37,7	+2,54	+26 47 52	−12,0
γ Весов	3,91	G8 III	34 07,5	+3,36	−14 42 27	−11,9
ε Юж. Треугольника	4,10	K0 III	34 24,8	+5,52	−66 14 06	−12,0
υ Весов	3,57	K2 III	35 30,1	+3,65	−28 03 13	−11,8
ω¹ Волка	4,33	K4,5 III	36 21,8	+4,07	−42 29 12	−11,8
τ Весов	3,65	B2,5 III	37 06,9	+3,69	−29 41 49	−11,8
γ Сев. Короны	3,85 v	A1 Vs	41 41,5	+2,52	+26 22 26	−11,3
α Змеи	2,64	K2 III	43 02,1	+2,96	+06 30 11	−11,2
ζ М. Медведицы	4,30	A3 V	44 55,1	−2,09	+77 52 19	−11,1
β Змеи	3,67	A3 V	45 01,9	+2,77	+15 29 56	−11,2
λ Змеи	4,39 v?	G0 V	45 13,7	+2,91	+07 25 49	−11,2
ϰ Змеи	4,09 v?	M1 III	47 36,8	+2,70	+18 13 04	−11,0
μ Змеи	3,53	A0 V	48 18,8	+3,13	−03 21 17	−10,9
χ Волка	3,94	A0 III	49 21,9	+3,82	−33 33 08	−10,8
ε Змеи	3,70	A2m	49 34,0	+2,99	+04 33 07	−10,7
θ Весов	4,16	K0 III—IV	52 23,9	+3,42	−16 39 26	−10,6
β Юж. Треугольника	2,85	F2 IV	52 55,4	+5,31	−63 21 19	−10,9
γ Змеи	3,86	F6 V	55 17,8	+2,77	+15 44 32	−11,7
ρ Скорпиона	3,86	B2 V	55 20,2	+3,71	−29 08 32	−10,4
ε Сев. Короны	4,15	K3 III	56 33,0	+2,48	+26 56 57	−10,3
π Скорпиона	2,87 v?	B1 V	57 20,1	+3,63	−26 02 36	−10,2
η Волка	3,41	B2 V	58 27,5	+3,98	−38 19 36	−10,3
δ Скорпиона	2,32	B0 V	58 51,1	+3,55	−22 33 07	−10,1
θ Дракона	4,01	F8 IV	16 01 25,1	+1,13	+58 37 53	−9,6
ξ Скорпиона	4,20	F6 IV	02 59,4	+3,92	−11 18 20	−7,8
β¹ Скорпиона	2,61 v?	B0,5V	03 58,8	+3,49	−19 44 18	−9,7
θ Волка	4,23	B2 V	04 56,7	+3,95	−36 44 08	−9,7
ω¹ Скорпиона	3,97	B1 V	05 20,5	+3,51	−20 36 10	−9,8
ω² Скорпиона	4,32	G2 II	05 56,1	+3,52	−20 48 09	−9,7
φ Геркулеса	4,24 v?	B9 V	07 58,8	+1,89	+44 59 58	−9,4
ν Скорпиона	4,01	B2 IV—V	10 32,3	+3,49	−19 23 49	−9,4
δ Змееносца	2,75	M1 III	13 02,0	+3,15	−03 37 52	−9,2
δ Юж. Треугольника	3,84	G2 II	13 08,9	+5,48	−63 37 25	−9,0
ε Змееносца	3,23	G9 III	16 59,7	+3,18	−04 37 58	−8,7
γ² Наугольника	4,02	G8 III	17 57,7	+4,50	−50 05 45	−8,7
τ Геркулеса	3,85 v?	B5 IV	18 59,2	+1,80	+46 22 20	−8,5
σ Скорпиона	2,88 v	B1 III	19 39,9	+3,65	−25 32 03	−8,5
γ Геркулеса	3,74 v?	A9 III	20 48,9	+2,65	+19 12 39	−8,4
ψ Змееносца	4,50	K0 III	22 38,2	+3,51	−19 58 49	−8,4
η Дракона	2,70 v?	G8 III	23 38,9	+0,82	+61 34 14	−8,1
ε Наугольника	4,46	B3 V	25 20,6	+4,40	−47 29 58	−8,2
χ Змееносца	4,43 v	B2 V	25 34,2	+3,48	−18 24 04	−8,0

Звезда	$B-V$	π, 0",001	μ_α, 0",001	μ_δ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
σ Lib	$1^m,70$	50	−73	−52	−4,3	337°	+29°	
π Lup	−0,14	9 dyn	−24	−25	+17 *v*	325	+10	348
λ Lup	−0,18	12 dyn	−19	−26	+18 *v*	327	+11	349
κ¹ Lup	−0,05	21	−92	−59	+3	325	+8	350
ζ Lup	0,92	36	−113	−74	−10,0	324	+5	351
δ Boo	0,95	28	+85	−121	−12,2	53	+58	352
β Cir	0,08	46	−99	−145	+9	321	−1	
β Lib	−0,11	24	−98	−26	−35,0	352	−39	353
2 Lup	1,10	12	−12	−15	−4	337	+23	
γ TrA	0,01	25	−59	−32	−7 *v*?	316	−10	354
μ Lup	−0,09	13 dyn	−29	−44	+14,8	327	+8	355
δ Lup	0,22	10	−15	−28	+0,0 *v*	331	+14	
φ¹ Lup	1,54	13	−93	−69	−29,4	334	+17	
γ UMi	0,05	18	−20	+16	−3,9 *v*	108	+41	356
ε Lup	−0,18	9 dyn	−22	−19	+8 *v*	329	+10	357
μ¹ Boo	0,31	30	−147	+80	−11,0	60	+56	358
ι Dra	1,16	32	−8	+9	−11,0	94	+49	
β CrB	0,29	31	−181	+81	−18,4	46	+56	359
θ CrB	−0,13	20	−26	−22	−25,0	50	+55	360
γ Lup	−0,20	8 dyn	−16	−33	+6 *v*	333	+12	361
δ Ser	0,26	15	−77	+5	−42 *v*	18	+48	362
α CrB	−0,02	44	+119	−98	+1,6	42	+54	363
γ Lib	1,02	33	+64	−2	−27,5	352	+32	364
ε TrA	1,17	30	+29	−74	−15,5 *v*	318	−9	365
υ Lib	1,39	34	−8	−6	−24,9	342	+22	366
ω¹ Lup	1,43	10	−146	+55	−6,4	333	+10	367
τ Lib	−0,18	17	−17	−38	+1 *v*	341	+20	
γ CrB	−0,01	26	−106	+38	−10,5	42	+52	368
α Ser	1,17	47	+134	+39	+2,9	14	+44	369
ζ UMi	0,04	14	+19	−4	−16 *v*	113	+36	
β Ser	0,06	35	+66	−55	−0,8	26	+48	370
λ Ser	0,60	91	−226	−72	−6,7 *v*	16	+44	371
κ Ser	1,62	17	−48	−95	−38,7	30	+48	
μ Ser	−0,04	14	−88	−29	−9,4 *v*	5	+37	
χ Lup	−0,04	13	−14	−36	−16,3 *v*	341	+16	372
ε Ser	0,16	34	+124	+57	−9,2	13	+42	
θ Lib	1,01	30	+98	+126	+3,4	354	+28	
β TrA	0,29	80	−192	−404	+2,6	322	−7	
γ Ser	0,48	75	+307	−1292	+6,8 *v*	28	+46	373
ρ Sco	−0,20	5	−10	−26	+2,8	345	+18	374
ε CrB	1,23	21	−82	−68	−30,5	44	+49	375
π Sco	−0,20	5	−12	−32	−3,5 *v*	347	+20	376
η Lup	−0,22	8 dyn	−22	−36	+7	339	+11	377
δ Sco	−0,12	9	−11	−30	−14 *v*	350	+22	378
θ Dra	0,52	46	−138	+334	−8,5 *v*	90	+45	379
ξ Sco	0,45	36	−65	−36	−29,4 *v*	0	+30	380
β¹ Sco	−0,08	5	−7	−26	−1,0 *v*	353	+24	381
θ Lup	−0,18	6	−19	−37	+14,6 *v*	341	+11	
ω¹ Sco	−0,05	4	−10	−29	−4 *v*	353	+23	
ω² Sco	0,84	14	+41	−45	−5,4	353	+28	
φ Her	−0,07	12	−30	+28	−14,9 *v*	71	+47	382
ν Sco	0,03	20	−11	−30	+1,4 *v*	355	+28	383
δ Oph	1,59	27	−46	−149	−19,3	9	+32	
δ TrA	1,11	20	+6	−22	−4,8	323	−9	384
ε Oph	0,98	36	+82	+35	−10,3	9	+31	
γ² Nor	1,08	37	−165	−59	−29,0	333	+0	385
τ Her	−0,15	23	−13	+32	−13,8	72	+45	
σ Sco	0,13	7	−11	−28	+2,5 *v*	351	+17	386
γ Her	0,27	19	−48	+39	−35,3 *v*	35	+41	387
ψ Oph	1,03	12	−28	−54	+0,2	356	+20	
η Dra	0,91	43	−23	+58	−14,3	93	+41	388
ε Nor	—	5	−10	−30	−12,5 *v*	337	+2	389
χ Oph	0 28	8	−11	−32	−5,1 *v*	358	+21	390

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1978}	Годовое изменение α	δ_{1978}	Годовое изменение δ
α Скорпиона	$0^m,91$ v	M1 Ia	$16^h27^m52^s,3$	$+3^s,68$	−26°22′41″	−7″,9
β Геркулеса	2,76 v?	G8 III	29 08,6	+2,58	+21 32 35	−7,8
γ Райской Птицы	3,88	K0 IV	29 34,0	+9,29	−78 50 39	−7,8
λ Змееносца	3,82	A1 V	29 39,1	+3,03	+2 02 15	−7,8
φ Змееносца	4,27	G8 III	29 42,3	+3,43	−16 33 34	−7,8
N Скорпиона	4,23	B2 III	29 44,7	+3,93	−34 39 05	−7,7
ω Змееносца	4,44 v?	A7 I	30 39,0	+3,56	−21 24 51	−7,6
σ Геркулеса	4,18 v?	A0 V	33 17,7	+1,94	+42 29 16	−7,4
τ Скорпиона	2,81	B0 V	34 19,3	+3,74	−28 09 56	−7,3
H Скорпиона	4,15 v	gK6	34 43,5	+3,95	−35 12 20	−7,4
ζ Змееносца	2,56 v	O9,5 V	35 46,8	+3,31	−10 31 04	−7,2
β Райской Птицы	4,23	K0 III	39 28,1	+8,72	−77 28 05	−6,9
ζ Геркулеса	2,78 v?	G0 IV	40 20,6	+2,26	+31 38 50	−6,4
η Геркулеса	3,50	G7 III	42 02,2	+2,06	+38 58 08	−6,8
α Юж. Треугольника	1,91	K4 III	46 00,2	+6,38	−68 59 03	−6,4
η Жертвенника	3,75	K5 III	47 37,1	+5,19	−58 59 56	−6,3
ε М. Медведицы	4,23 v	G5 III	48 28,4	−6,06	+82 04 50	−6,2
ε Скорпиона	2,24 v?	K2,5 III	48 32,4	+3,89	−34 14 57	−6,4
μ¹ Скорпиона	3,03 v	B1,5 V	50 10,3	+4,07	−38 00 22	−6,0
μ² Скорпиона	3,56	B2 IV	50 38,3	+4,06	−37 58 35	−6,1
ζ¹ Скорпиона	4,3 v	B1e Ia	52 13,6	+4,22	−42 19 19	−6,2
ζ² Скорпиона	3,59 v?	K4 III	52 49,2	+4,22	−42 19 12	−6,2
ι Змееносца	4,38	B8 IV	52 49,4	+2,84	+10 12 19	−5,8
κ Змееносца	3,20 v	K2 III	56 29,0	+2,84	+09 24 46	−5,5
ζ Жертвенника	3,12	K5 III	56 32,7	+4,97	−55 57 09	−5,5
ε¹ Жертвенника	4,05	K4 III	57 35,1	+4,79	−53 07 26	−5,4
ε Геркулеса	3,92	A0 V	59 19,9	+2,30	+30 57 44	−5,2
ζ Дракона	3,17	B6 III	17 08 42,5	+0,18	+65 44 43	−4,4
η Змееносца	2,42	A2 V	08 56,5	+3,44	−15 41 43	−4,3
η Скорпиона	3,34	F0 IV	10 21,5	+4,30	−43 12 28	−4,6
α¹ Геркулеса	3,06 v	M5 II	13 30,4	+2,74	+14 25 04	−4,0
36 Змееносца	4,35	K0 V	13 48,5	+3,69	−26 34 02	−5,3
δ Геркулеса	3,13 v	A3 V	14 00,2	+2,47	+24 52 03	−4,2
π Геркулеса	3,07 v?	K3 II	14 10,5	+2,09	+36 50 11	−4,0
ν Змеи	4,31	A1 V	19 25,1	+3,37	−12 49 22	−3,5
ξ Змееносца	4,38	F2 V	19 30,2	+3,60	−21 05 15	−3,9
θ Змееносца	3,26 v	B2 IV	20 28,3	+3,69	−24 58 34	−3,5
ρ Геркулеса	4,18	A0 V	22 49,1	+2,07	+37 10 05	−3,2
β Жертвенника	2,84	K3 Ib	23 13,0	+4,99	−55 30 30	−3,2
γ Жертвенника	3,33	B1 III	23 17,1	+5,05	−56 21 22	−3,4
b Змееносца	4,16	A9 V	24 50,5	+3,67	−24 09 14	−3,2
σ Змееносца	4,25 v?	K3 II	25 16,3	+2,98	+04 09 39	−3,0
d Змееносца	4,27	F5 IV	25 45,3	+3,83	−29 50 46	−3,1
δ Жертвенника	3,61	B8 V	28 50,2	+5,42	−60 39 54	−2,8
υ Скорпиона	2,68	B3 Ib	29 03,7	+4,08	−37 16 59	−2,7
λ Геркулеса	4,39 v?	K4 III	29 43,6	+2,43	+26 07 42	−2,6
β Дракона	2,78	G2 II	29 52,0	+1,36	+52 19 09	−2,6
α Жертвенника	2,86 v	B2,5 V	29 54,3	+4,64	−49 51 30	−2,7
λ Скорпиона	1,63	B1 V	31 54,5	+4,08	−37 05 14	−2,5
α Змееносца	2,02 v?	A5 III	33 46,3	+2,79	+12 34 37	−2,5
Q Скорпиона	4,2 v?	K0 II	34 49,3	+4,13	−38 37 09	−2,6
θ Скорпиона	1,84 v?	F0 Ia	35 31,2	+4,31	−42 59 01	−2,1
ξ Змеи	3,54	F0 IV	36 09,2	+3,44	−15 23 03	−2,1
ι Геркулеса	3,80 v?	B3 V	38 45,4	+1,69	+46 01 08	−1,9
ο Змеи	4,24 v	A2 V	40 00,4	+3,38	−12 51 48	−1,8
δ М. Медведицы	4,36	A1 V	40 13,6	−19,33	+86 36 01	−1,7
κ Скорпиона	2,41 v	B2 IV	40 45,3	+4,15	−39 01 07	−1,7
β Змееносца	2,77	K2 III	42 14,1	+2,96	+04 34 35	−1,4
η Павлина	3,61	K1 III	43 16,5	+5,89	−64 42 51	−1,5
μ Геркулеса	3,42	G5 IV	45 28,7	+2,35	+27 44 04	−2,0
ι¹ Скорпиона	3,00	F2 Ia	45 50,0	+4,20	−40 07 08	−1,2
γ Змееносца	3,75	A0 V	46 38,2	+3,01	+02 42 56	−1,2
G Скорпиона	3,20	K1 III	48 09,3	+4,09	−37 02 13	−1,0
ξ Дракона	3,75	K2 III	53 05,7	+1,04	+56 52 34	−0,5
θ Геркулеса	3,82 v?	K1 II	55 23,7	+2,06	+37 15 10	−0,4

Звезда	B—V	π, 0",001	μα, 0",001	μδ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
α Sco	1^m,84	19	−9	−28	−3,2 v	352°	+15°	391
β Her	0,92	22	−103	−22	−25,5 v	39	+40	392
γ Aps	0,91	52	−120	−74	+5,4 v	313	−20	
λ Oph	0,00	1	−27	−85	−15 v	17	+32	393
φ Oph	0,92	9	−53	−41	−34,4	0	+21	394
N Sco	−0,16	5	−9	−22	+1,7 v	346	+9	
ω Oph	0,11	30	+13	+30	+2,5	356	+18	395
σ Her	−0,01	12	−12	+39	−10,9	67	+43	
τ Sco	−0,25	14	−11	−28	+3 v	352	+13	
H Sco	1,57	16	+20	−4	−2,1 v	346	+8	
ζ Oph	0,02	6	+10	+20	−18 v	6	+24	
β Aps	1,06	27	−284	−350	−30,7	314	−20	396
ζ Her	0,57	110	−470	+385	−69,9 v	53	+40	397
η Her	0,92	51	+35	−90	+8,3	62	+41	
α TrA	1,44	27	+23	−37	−3,7	322	−15	
η Ara	1,58	18	+39	−37	+9,0	330	−9	
ε UMi	0,90	14	+14	−1	−10,6 v	115	+31	398
ε Sco	1,16	52	−613	+256	−2,7	349	+7	399
μ¹ Sco	−0,22	10	−14	−30	−0 v	346	+	400
μ² Sco	−0,22	4	−13	−28	+2 v?	346	+4	401
ζ¹ Sco	0,44	2	+1	−8	−26 v	343	+1	
ζ² Sco	1,36	21	−127	−237	−19	343	+1	
ι Oph	−0,08	21	−53	−41	−21,0 v	29	+31	402
κ Oph	1,16	26	+293	−14	−55,6	28	+30	
ζ Ara	1,61	36	−18	−37	−6,0	333	−8	403
ε¹ Ara	1,45	10	−0	+11	+23,1	335	−7	
ε Her	−0,01	22	−50	+22	−24,6 v	53	+36	404
ζ Dra	−0,11	15	−18	+19	−14,1	96	+35	
η Oph	0,05	47	+35	+90	−0,9	7	+14	405
η Sco	0,40	61	+19	−292	−27,7	344	−2	
α¹ Her	1,45	6	−10	+30	−32,5	36	+28	406
36 Oph	0,86	183	−497	−1137	−0,3	358	+7	407
δ Her	0,08	35	−24	−162	−40,5	47	+31	408
π Her	1,44	18	−29	−1	−25,7	61	+34	409
ν Ser	0,03	22	+41	+1	+4, v	11	+13	410
ξ Oph	0,41	29	−42	−66	−42,8 v	11	+9	411
θ Oph	−0,23	7	−3	−25	−3 v	0	+7	412
ρ Her	−0,07	12	−44	−2	−21,0	61	+33	413
β Ara	1,46	30	−11	−33	−0,4	335	−11	
γ Ara	−0,13	4	−3	−17	−4 v	335	−11	414
b Oph	0,28	45	0	−123	−37,2	2	+6	
σ Oph	1,50	5	−1	+4	−27,2	27	+21	415
d Oph	0,40	19	+18	−147	+37,6	357	+3	
δ Ara	−0,10	21	−54	−96	−12,0	331	−14	416
υ Sco	−0,23	9	−4	−39	+18 v?	351	−2	
λ Her	1,44	12	+18	+15	−26,4	49	+28	
β Dra	1,00	11	−17	+8	−20,0	80	+33	
α Ara	−0,17	5	−32	−77	−1 v	341	−9	417
λ Sco	−0,22	11	−1	−31	0 v	352	−2	418
α Oph	0,15	56	+117	−232	+12,7 v	36	+23	419
Q Sco	1,09	12	−16	−204	−48,8 v	351	−4	
θ Sco	0,40	17	+11	−5	+1,4	347	−6	
ξ Ser	0,12	29	−42	−66	−42,8 v	11	+9	420
ι Her	−0,18	4	−7	0	−20,0 v	72	+31	
o Ser	0,07	3	−75	−57	−30 v	13	+9	421
δ UMi	0,02	1	+11	+51	−7,6	119	+28	
κ Sco	−0,21	8	−13	−28	−10 v	351	−5	
β Oph	1,70	25	−43	+154	−9,0	29	+17	
η Pav	1,14	19	−9	−59	−7,6	328	−18	
μ Her	0,75	116	−313	−748	−15,6	52	+26	422
ι¹ Sco	0,51	11	0	−4	−27,6 v	351	−6	423
γ Oph	0,04	31	−24	−76	−6,0	28	+15	
G Sco	1,17	32	+57	+28	+24,7	353	−5	
ξ Dra	1,18	30	+93	+74	−25,8 v	85	+30	
θ Her	1,35	8	+4	+2	−27,2	63	+26	

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
γ Дракона	$2^m,22$ v?	K5 III	$17^h56^m01^s,4$	$+1^s,39$	+51 29′28″	−0″,4
ξ Геркулеса	3,68 v?	K0 III	56 47,5	+2,33	+29 14 59	−0,3
ν Геркулеса	4,41 v	F2 II	57 32,7	+2,30	+30 11 26	−0,2
ν Змееносца	3,34	G9 III	57 38,9	+3,30	−09 46 19	−0,3
67 Змееносца	3,97	B5 Ib	59 23,5	+3,01	+02 55 53	−0,1
95 Геркулеса	4,28 v?	A7n III	18 00 26,2	+2,55	+21 35 39	+0,7
68 Змееносца	4,42 v?	A2n V	00 29,0	+3,04	+01 18 16	+0,0
р Змееносца	4,02	K0 V	04 11,4	+3,03	+02 30 15	−0,7
γ Стрельца	2,99	K0 III	04 12,0	+3,85	−30 25 34	+0,2
θ Жертвенника	3,66	B0,5 II	04 40,9	+4,67	−50 05 42	+0″,4
72 Змееносца	3,73	A4 IV	06 09,8	+2,84	+09 33 33	+0,6
π Павлина	4,34	A5 V	06 10,3	+5,77	−63 40 18	+0,5
о Геркулеса	3,83 v	B9,5 V	06 34,0	+2,34	+28 45 29	+0,6
102 Геркулеса	4,35	B2 V	07 41,3	+2,57	+20 48 34	+0,7
μ Стрельца	3,85 v	B8 Ia	12 16,0	+3,59	−21 04 01	+1,1
η Стрельца	3,11 v	M3 III	15 56,1	+4,06	−36 46 15	+1,2
κ Лиры	4,31 v?	K2 III	18 59,0	+2,10	+36 03 09	+1,7
δ Стрельца	2,70	K2 III	19 23,6	+3,84	−29 50 25	+1,7
η Змеи	3,25	K0 III	20 00,9	+3,10	−02 54 24	+1,0
ξ Павлина	4,36	K2 III	20 55,3	+5,53	−61 30 26	+1,8
φ Дракона	4,22 v	A0p	21 07,0	−0,86	+71 19 29	+1,9
χ Дракона	3,58	F7 V	21 30,4	−1,08	+72 43 20	+1,5
ε Стрельца	1,85	A0 V	22 30,7	+3,98	−34 23 53	+1,8
109 Геркулеса	3,82 v?	K2 III	22 37,9	+2,56	+21 45 26	+1,7
α Телескопа	3,51	B3 III	25 07,1	+4,45	−45 59 02	+2,1
λ Стрельца	2,81	K2 III	26 25,6	+3,70	−25 26 13	+2,1
ζ Телескопа	4,12	K0 III	26 54,3	+4,62	−49 05 10	+1,9
α Щита	3,81 v?	K3 III	33 50,7	+3,26	−08 15 46	+2,6
α Лиры	0,03	A0 V	36 05,5	+2,03	+38 45 34	+3,4
ζ Павлина	4,00	K2 III	40 07,3	+7,00	−71 27 08	+3,3
ε^2 Лиры	4,50	A3n+A5	43 33,1	+1,99	+39 35 09	+3,8
ζ^1 Лиры	4,31 v?	A3+A4m	43 54,6	+2,07	+37 34 41	+3,8
φ Стрельца	3,16	B8 III	44 05,6	+3,75	−27 01 05	+3,8
110 Геркулеса	4,17 v?	F6 V	44 35,1	+2,58	+20 31 17	+3,5
β Щита	4,22	G5 II	45 50,8	+3,18	−04 46 33	+4,0
111 Геркулеса	4,36	A3 V	45 54,9	+2,65	+18 09 09	+4,1
β Лиры	3,38 v	B8 pe	49 09,3	+2,22	+33 19 58	+4,3
λ Павлина	4,21 v	B2 II	49 54,2	+5,55	−62 13 07	+4,3
δ^2 Лиры	4,30 v	M4 II	53 37,7	+2,10	+36 51 58	+4,7
σ Стрельца	2,09	B2 V	53 42,9	+3,72	−26 19 45	+4,6
R Лиры	4,00 v	M5 III	54 34,4	+1,83	+43 54 44	+4,8
θ Змеи	4,07 v?	A5 V	54 58,5	+2,98	+04 10 12	+4,8
ξ^2 Стрельца	3,51	K1 III	56 14,3	+3,58	−21 08 27	+4,9
γ Лиры	3,24 v?	B9 III	58 00,4	+2,24	+32 39 15	+5,0
ε Орла	4,02	K2 III	58 29,2	+2,72	+15 02 00	+5,0
i Орла	4,02	K1 III	19 00 20,7	+3,20	−05 46 32	+5,2
ζ Стрельца	2,59	A2 III	01 01,3	+3,82	−29 55 03	+5,1
о Стрельца	3,77	G8 III	03 11,1	+3,59	−21 46 46	+5,3
ζ Орла	2,98 v?	B9,5 V	04 15,6	+2,76	+13 49 30	+5,5
γ Южной Короны	4,20	F8 V	04 43,7	+4,05	−37 06 03	+5,2
λ Орла	3,43	B9 V	04 55,2	+3,18	−04 55 16	+5,5
τ Стрельца	3,31	K1 III	05 22,8	+3,74	−27 42 30	+5,4
α Юж. Короны	4,11	A2n	07 46,4	+4,08	−37 56 42	+5,7
π Стрельца	2,88	F2 II	08 16,6	+3,57	−21 03 53	+5,8
β Южной Короны	4,11	G3 I	08 18,6	+4,13	−39 22 55	+5,7
δ Дракона	3,07	G9 III	12 33,1	+0,01	+67 37 03	+6,3
η Лиры	4,36 v?	B2 IV	12 54,4	+2,04	+39 06 08	+6,3
θ Лиры	4,37 v	K0 II	15 29,9	+2,08	+38 05 18	+6,5
τ Дракона	4,45	K3 III	16 02,4	−1,17	+73 18 34	+6,6
κ Лебедя	3,76 v	G9 III	16 31,5	+1,39	+53 19 18	+6,7
ρ Стрельца	3,93 v	F0 IV—V	20 13,3	+3,48	−17 53 44	+6,8
β^1 Стрельца	3,92	B8 V	20 50,5	+4,31	−44 30 27	+6,9
β^2 Стрельца	4,28	F0 IIIn	21 24,9	+4,33	−44 50 54	+6,8
α Стрельца	3,96	B9 III	22 09,3	+4,15	−40 39 52	+6,9
δ Орла	3,34 v?	F0 IV	24 14,2	+3,02	+03 03 49	+7,3

Звезда	B−V	π, 0",001	μ_α, 0",001	μ_δ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
γ Dra	1^m,52	20	−11	−24	−27,6	79°	+29°	424
ξ Her	0,94	20	+85	−19	−1,5	55	+24	
ν Her	0,39	9	−5	+3	−22,2	56	+24	
ν Oph	0,99	17	−9	−118	+12,4	18	+7	
67 Oph	0,02	1	−3	−11	−4,4 *v*	30	+13	425
95 Her	0,40	−1	+8	+30	−30	48	+20	426
68 Oph	0,04	15	+10	+15	+4 *v*	28	+12	427
p Oph	0,86	188	+256	−1097	−7,1 *v*	30	+11	428
γ Sgr	1,01	21	−52	−193	+22,1	1	−5	
θ Ara	−0,08	6	−15	−20	+3,1	343	−14	
72 Oph	0,12	37	−62	+78	−23,9	37	−14	428
π Pav	0,22	24	+15	−190	−15,6 *v*	330	−20	
o Her	−0,02	13	−0	+7	−29,5	55	+22	429
102 Her	−0,15	3	0	−12	−14,5	47	+18	430
μ Sgr	0,22	7	+1	−3	−2,7	10	−2	431
η Sgr	1,56	38	−141	−167	+0,7	356	−10	432
κ Lyr	1,17	11	−23	+42	−22,3	64	+22	
δ Sgr	1,38	40	+38	−32	−20,0	3	−7	433
η Ser	0,94	53	−556	−700	+8,9	27	+5	434
ξ Pav	1,48	10	−3	0	+12,3 *v*	333	−20	435
φ Dra	−0,10	8	−8	+41	−20,8 *v*	102	+28	436
χ Dra	0,49	123	+522	−361	+32,5 *v*	103	+28	437
ε Sgr	−0,03	18	−41	−129	−13	359	−10	438
109 Her	1,18	18	+194	−250	−57,5	50	+16	
α Tel	−0,17	10	−18	−49	−1,0 *v*	349	−15	
λ Sgr	1,04	46	−47	−188	−43,3	8	−7	439
ζ Tel	1,01	21	+138	−245	−30,6	346	−17	
α Sct	1,34	15	−18	−314	+35,8	24	−0	
α Lyr	0,00	123	+200	+281	−13,9	67	+19	440
ζ Pav	1,14	27	0	−163	+17,0	323	−25	441
ε² Lyr	0,19	15	+2	+61	−24	69	+18	442
ζ¹ Lyr	0,19	25	+23	+21	−26,0 *v*	67	+17	443
φ Sgr	−0,11	15	+52	−2	+21,5	8	−11	
110 Her	0,46	50	−14	−338	+23,6	51	+10	444
β Sct	1,09	14	−10	−21	−21,7 *v*	28	−1	445
111 Her	0,12	40	+67	+110	−44,6 *v*	49	+9	
β Lyr	0,00	3	+1	−7	−16,4 *v*	63	+15	446
λ Pav	−0,15	3	−6	−23	+20,4 *v*	334	−24	447
δ² Lyr	1,67	9	−14	+7	−26,0	67	+15	448
σ Sgr	−0,21	18	+12	−58	−11,2 *v*	10	−12	449
R Lyr	1,59	4	+19	+77	−28,3	74	+18	450
θ Ser	0,17	28	+43	+30	−45,5	37	−1	451
ξ² Sgr	1,18	6	+31	−16	−19,9	15	−11	
γ Lyr	−0,05	12	−6	−3	−21,5 *v*	63	+13	452
ε Aql	1,08	24	−57	−75	−48,0 *v*	47	+5	
i Aql	1,09	17	−24	−34	−43,9	29	−5	
ζ Sgr	0,08	20	−19	−5	+22	7	−15	453
o Sgr	1,00	38	+78	−62	+25,2	15	−12	
ζ Aql	0,01	36	−9	−101	−25,6 *v*	47	+3	454
γ CrA	0,52	48	+91	−276	−52	0	−19	455
λ Aql	−0,09	25	−25	−89	−13 *v*	30	−6	
τ Sgr	1,20	38	−54	−255	+45,4	9	15	
α CrA	0,04	29	+87	−102	−18,4	0	−20	
π Sgr	0,34	18	−1	−40	−9,8	16	−13	456
β CrA	1,20	8	−1	−39	+2,7	358	−20	
δ Dra	1,00	30	+94	+90	+24,8	99	+23	
η Lyr	−0,14	4	−1	0	−8,2	71	+13	457
θ Lyr	1,25	8	−5	0	−30,9	70	+12	458
τ Dra	1,25	13	−142	+110	−29,7 *v*	105	+24	
κ Cyg	0,97	23	+57	+122	−29,3 *v*	84	+18	
ρ Sgr	0,22	35	−27	+23	+1,2	20	−15	459
β¹ Sgr	0,09	19	+2	−22	−9,3	354	−24	460
β² Sgr	0,35	22	+92	−57	+22	353	−24	
α Sgr	−0,11	14	+30	−120	−1,0 *v*	358	−23	
δ Aql	0,04	66	+255	+79	−29,9 *v*	40	−6	461

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
α Лисички	4^m,45	M0 III	19^{h}27^{m}39^s,8	+2^s,50	+24°36′48″	+7″,4
ι Лебедя	3,79	A5 V	29 04,5	+1,51	+51 40 33	+7,7
β Лебедя	3,05 v?	K3 II	29 42,7	+2,42	+27 54 22	+7,6
μ Орла	4,42 v?	K3 III	32 52,0	+2,93	+07 19 29	+7,7
ι Орла	4,35	B5 III	35 25,6	+3,10	−01 20 35	+8,1
θ Лебедя	4,47	F4 V	35 46,1	+1,61	+50 09 45	+8,4
α Стрелы	4,37	G0 II	38 58,6	+2,68	+17 57 19	+8,3
β Стрелы	4,37	G8 II	39 55,5	+2,69	+17 25 01	+8,4
δ Лебедя	2,85 v?	B9,5 III	44 11,5	+1,88	+45 04 08	+8,8
γ Орла	2,72	K3 II	45 04,2	+2,85	+10 33 05	+8,9
δ Стрелы	3,82 v	M2 II	46 16,3	+2,68	+18 28 18	+9,0
ε Дракона	3,82 v?	G2 III	48 15,8	−0,22	+70 12 16	+9,2
α Орла	0,76	A7 IV	49 33,7	+2,93	+08 48 04	+9,6
χ Лебедя	4,2 v	S7e I	49 36,1	+2,31	+32 51 00	+9,2
η Орла	3,50 v	F6 Ib	51 11,9	+3,05	+00 56 25	+9,3
ι Стрельца	4,12	K0 III	53 32,4	+4,13	−41 56 08	+9,6
β Орла	3,68 v?	G8 IV	54 05,0	+2,95	+06 20 36	+9,1
η Лебедя	3,93	K0 III	55 22,0	+2,25	+35 00 58	+9,6
b¹ Стрельца	4,50	K3 III	55 24,8	+3,68	−27 14 15	+9,5
γ Стрелы	3,46 v?	K5 III	57 38,6	+2,67	+19 25 24	+9,9
ε Павлина	3,93 v?	A0 V	57 43,5	+6,89	−72 58 44	+9,7
θ¹ Стрельца	4,35	B3 IV	58 06,7	+3,90	−35 20 43	+9,9
ρ Дракона	4,51	K3 III	20 02 42,6	+0,26	+67 48 08	+10,2
δ Павлина	3,52 v?	G5 IV	06 17,1	+5,86	−66 14 52	+9,4
κ Цефея	4,39	B9 III	09 45,5	−2,07	+77 38 12	+10,8
θ Орла	3,23	B9,5 III	10 00,8	+3,09	−00 53 48	+10,8
33 Лебедя	4,26 v?	A3 IV	12 49,0	+1,39	+56 29 27	+11,1
o¹ Лебедя	3,80 v	K4 Ib+B4 V	12 50,6	+1,89	+46 39 53	+11,0
o² Лебедя	3,98 v	K3 Ib+A3	14 41,8	+1,89	+47 38 13	+11,0
α¹ Козерога	4,26	G3 Ib	16 15,7	+3,32	−12 35 12	+11,2
α² Козерога	3,58	G9 III	16 40,0	+3,33	−12 37 24	+11,3
β Козерога	3,08	F8 V+B8	19 36,4	+3,37	−14 51 41	+11,5
γ Лебедя	2,15 v?	F8 Ib	21 19,8	+2,15	+40 10 33	+11,6
39 Лебедя	4,44	K3 III	22 51,6	+2,39	+32 06 31	+11,7
α Павлина	1,93 v?	B3 IV	23 40,7	+4,73	−56 49 00	+11,7
41 Лебедя	4,02	F5 II	28 22,3	+2,45	+30 17 03	+12,1
θ Цефея	4,21	A7 III	29 09,8	+1,00	+62 54 35	+12,1
ε Дельфина	3,95 v?	B6 III	32 01,0	+2,87	+11 13 02	+12,3
α Индейца	3,11	K0 III	35 48,8	+4,21	−47 22 48	+12,7
β Дельфина	3,62	F5 IV	36 22,5	+2,81	+14 30 26	+12,6
71 Орла	4,30 v?	G8 III	37 02,8	+3,10	−01 11 37	+12,7
α Дельфина	3,77 v?	B9 V	38 28,5	+2,79	+15 49 23	+12,8
α Лебедя	1,25 v	A2 Ia	40 34,7	+2,05	+45 11 25	+12,9
δ Дельфина	4,44 v	A7 III	42 17,4	+2,80	+14 59 02	+13,0
β Павлина	3,41	A5 IV	42 43,3	+5,38	−66 17 40	+13,1
ψ Козерога	4,13	F5 V	44 37,0	+3,55	−25 21 43	+13,0
52 Лебедя	4,23	K0 III	44 37,7	+2,48	+30 37 40	+13,2
7955 Цефея	4,52	F8 IV	44 43,9	+1,49	+57 29 23	+13,0
η Цефея	3,43	K0 IV	44 46,9	+1,22	+61 44 29	+14,0
ε Лебедя	2,46	K0 III	45 11,9	+2,43	+33 52 33	+13,6
γ Дельфина	3,91	K1 IV	45 29,8	+2,78	+16 02 00	+13,1
ε Водолея	3,77	A2 V	46 19,3	+3,24	−09 35 18	+13,3
EN Водолея	4,44 v	M3 III	46 25,0	+3,16	−05 07 13	+13,3
ω Козерога	4,09 v?	M1 III	50 19,9	+3,57	−27 00 50	+13,6
β Индейца	3,64	K0 III	52 52,0	+4,67	−58 32 59	+13,7
ν Лебедя	3,94	A1 V	56 14,4	+2,24	+41 04 13	+13,9
ξ Лебедя	3,56 v?	K5 Ib	21 04 01,2	+2,18	+43 49 39	+14,4
θ Козерога	4,07	A1 V	04 32,6	+3,37	−17 19 59	+14,4
A Козерога	4,49	M1 III	05 40,0	+3,50	−25 06 24	+14,5
ζ Лебедя	3,20	G8 II	11 52,2	+2,55	+30 07 25	+14,8
δ Малого Коня	4,49	F7 V	13 15,7	+2,92	+09 54 18	+14,7
τ Лебедя	3,73 v	F0 IV	13 47,5	+2,40	+37 56 17	+15,4
α Малого Коня	3,92	G0 III	14 34,4	+3,00	+05 08 37	+15,0
σ Лебедя	4,20 v?	B9 Iab	16 25,9	+2,36	+39 17 21	+15,1
υ Лебедя	4,42 v	B2 V	16 53,2	+2,47	+34 47 28	+15,2

Звезда	B−V	π, 0",001	μα, 0",001	μδ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
α Vul	1^m,50	12	−128	−107	−85,5	59°	+3°	
ι Cyg	0,14	24	+20	+127	−19,5	84	+15	
β Cyg	1,13	6	−3	−8	−24,0 *v*	62	+5	462
μ Aql	1,18	26	+211	−157	−23,9	44	−4	463
ι Aql	−0,09	2	0	−18	−22	37	−11	464
θ Cyg	0,39	61	−28	+250	−28,0	83	+14	465
α Sge	0,77	6	+9	−24	+1,7	54	−2	
β Sge	1,05	18	+4	−37	−22,4	54	−3	
δ Cyg	−0,02	50	+146	−138	−20,6 *v*?	224	+67	466
γ Aql	1,52	8	+13	−1	−2,5	49	−7	
δ Sge	1,41	8	+4	+9	+1,9 *v*	56	−3	467
ε Dra	1,16	1	+78	+36	+3,1	102	+21	468
α Aql	0,22	198	+535	+383	−26,3	48	−9	469
χ Cyg	1,8 *v*	14	−33	−42	−2	69	+3	470
η Aql	0,84	4,5	+7	−8	−14,8 *v*	41	−13	471
ι Sgr	1,08	24	+17	+52	+36,0	358	−29	
β Aql	0,86	70	+39	−483	−39,8	46	−11	472
η Cyg	1,03	24	+20	+127	−19,5	84	+15	473
b¹ Sgr	1,46	19	+2	−22	−9,3	354	−24	474
γ Sge	1,57	13	+61	+24	+32,8	58	−5	
ε Pav	−0,03	12	+78	−138	−2,0	322	−31	
θ¹ Sgr	−0,15	7	+7	−30	+0,9 *v*	6	−28	475
ρ Dra	1,31	13	+13	+49	−9,2	101	+19	
δ Pav	0,76	172	+1187	+1145	−21,6	330	−32	476
κ Cep	−0,05	10	+9	+26	−21,4	110	+22	477
θ Aql	−0,07	10	+35	+5	−27,6 *v*	42	−18	478
33 Cyg	0,11	16	+61	+82	−22 *v*	91	+12	
o¹ Cyg	1,28	5	0	0	−7,7 *v*	83	+7	479
o² Cyg	1,52	8	−4	+5	−5,7 *v*	84	+7	480
α¹ Cap	1,08	2	+16	+4	−25,9 *v*	31	−25	481
α² Cap	0,95	33	+60	+5	+0,4	31	−25	482
β Cap	0,79	6	+39	+1	+18,9 *v*	29	−26	483
γ Cyg	0,67	6	+1	0	−7,5	78	+2	484
39 Cyg	1,33	10	+37	−2	−14,6	72	−3	
α Pav	−0,20	14	+7	−87	+2,0 *v*	341	−35	485
41 Cyg	0,40	7	+5	−3	−18,4	71	−5	486
θ Cep	0,20	31	+43	−14	−6,4 *v*	98	+14	487
ε Del	−0,12	17	+7	−22	−19,3	55	−17	488
α Ind	1,00	39	+49	+66	−1,1	253	−37	
β Del	0,44	26	+106	−34	−24,1	59	−16	489
71 Aql	0,96	5	+10	−20	−5,9 *v*	45	−24	490
α Del	−0,06	15	+62	−3	−5,5	60	−15	491
α Cyg	0,09	4	−2	+2	−4,6 *v*	84	+2	492
δ Del	0,32	12	−25	−48	+9,3	60	−17	493
δ Pav	0,16	28	−44	+14	+9,8	329	−34	
ψ Cap	0,43	88	−56	−156	+25,8 *v*	20	−36	
52 Cyg	1,06	12	−14	+28	−1,3	73	−8	494
7955 Cep	0,54	41	−66	−232	−31,4	94	+9	495
η Cep	0,92	72	+90	+820	−87,3	98	+12	496
ε Cyg	1,03	45	+355	+325	−11 *v*	76	−6	497
γ Del	0,85	26	−38	−198	−7,0	61	−17	498
ε Aqr	0,00	17	+28	−33	−16,0 *v*?	38	−30	
EN Aqr	1,67	4	−6	−39	−22	42	−28	
ω Cap	1,63	10	−5	−9	+9,0	18	−37	
β Ind	1,25	20	+23	−25	−4,9 *v*?	338	−39	499
ν Cyg	0,02	10	+8	−16	−27,5 *v*	83	−3	
ξ Cyg	1,65	2	+3	+2	−19,7 *v*	86	−2	500
θ Cap	−0,01	13	+82	−58	−10,9	31	−37	
A Cap	1,60	14	−30	−43	+31,9	22	−38	501
ζ Cyg	1,00	18	−3	−56	+17,4 *v*	77	−12	
δ Equ	0,50	53	+43	−303	−15,2 *v*	60	−26	502
τ Cyg	0,40	47	+159	+436	−21,1 *v*	83	−7	503
α Equ	0,52	15	+54	−84	−17,4 *v*	56	−29	504
σ Cyg	0,12	1	−5	−3	−4,1 *v*	84	−7	505
υ Cyg	−0,10	16	+9	−4	+3 *v*	81	−10	506

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
α Цефея	$2^m,45$	A7 IV	$21^h17^m58^s,9$	$+1^s,43$	+62°28′45″	+15″,3
ι Козерога	4,27	G8 III	20 51,3	+3,34	−16 56 31	+15,4
1 Пегаса	4,09	K1 III	20 55,7	+2,78	+19 41 49	+15,5
γ Павлина	4,17 v?	F8 V	24 23,7	+4,93	−65 28 50	+16,4
ζ Козерога	3,74	G4 Ib	25 14,5	+3,42	−22 31 14	+15,7
β Цефея	3,19 v	B2 III	28 20,6	+0,76	+70 27 03	+15,8
β Водолея	2,87	G0 Ib	30 14,6	+3,16	−05 40 55	+15,9
ρ Лебедя	4,02	G8 III	33 02,3	+2,26	+45 28 51	+16,0
γ Козерога	3,67	F0 III	38 42,4	+3,32	−16 46 34	+16,3
ν Октанта	3,75	K0 III	38 45,3	+6,58	−77 30 09	+16,1
μ Цефея	4,49 v?	M2 Ia	42 44,4	+1,84	+58 39 54	+16,6
ε Пегаса	2,39 v	K2 Ib	42 57,4	+2,95	+09 45 35	+16,6
μ Лебедя	4,49 v?	F6 V	43 01,4	+2,69	+28 37 45	+16,6
9 Пегаса	4,20 v?	G5 Ib	43 19,6	+2,84	+17 14 04	+16,6
ι Юж. Рыбы	4,34	A0 V(Si)	43 27,6	+3,57	−33 08 27	+16,5
κ Пегаса	4,15	F5 IV	43 30,7	+2,72	+25 31 46	+16,6
ν Цефея	4,25 v?	A2 Ia	44 43,6	+1,73	+61 00 18	+16,7
δ Козерога	2,83 v	A6m	45 39,7	+3,31	−16 14 29	+16,4
π² Лебедя	4,24	B3 III	45 52,0	+2,22	+49 11 36	+16,7
γ Журавля	3,01	B8 III	52 25,1	+3,62	−37 28 59	+17,0
ξ² Цефея	4,29	A3m	22 03 03,9	+1,74	+64 30 21	+17,6
α Водолея	2,93	G2 Ib	04 29,9	+3,08	−00 26 31	+17,5
λ Журавля	4,46	M0 III	04 36,7	+3,61	−39 39 53	+17,4
ι Водолея	4,25	B8 V	05 05,2	+3,24	−13 59 30	+17,5
ι Пегаса	3,76	F5 V	05 50,7	+2,80	+25 13 21	+17,6
α Журавля	1,70 v?	B5 V	06 39,8	+3,77	−47 04 58	+17,5
μ Юж. Рыбы	4,50	A2 V	06 55,7	+3,49	−33 06 41	+17,6
π Пегаса	4,29	F5 II	08 52,5	+2,67	+33 03 18	+17,7
θ Пегаса	3,48 v?	A3 V	08 56,2	+3,03	+06 04 27	+17,8
ζ Цефея	3,17: v?	K1 Ib	09 59,0	+2,08	+58 04 39	+17,8
8485 Ящерицы	4,49 v?	K3 III	12 48,2	+2,58	+39 35 25	+17,9
ε Цефея	4,19 v	F0 IV	14 06,7	+2,21	+56 55 06	+18,0
1 Ящерицы	4,13	K3 II—III	14 52,6	+2,62	+37 37 26	+18,0
θ Водолея	4,15	G8 III	15 30,9	+3,16	−07 54 30	+18,0
α Тукана	2,85	K3 III	16 48,1	+4,09	−60 23 06	+18,0
γ Водолея	3,84 v?	A9 III	20 21,8	+3,10	−01 30 50	+18,2
β Ящерицы	4,44	G9 III	22 34,4	+2,36	+52 06 12	+18,1
ζ Водолея	3,62	F2 IV	27 32,7	+3,09	−0 08 55	+18,5
δ¹ Журавля	3,97	G5 I	27 46,8	+3,58	−43 37 26	+18,4
δ Цефея	4,34 v	F5 Ib	28 14,3	+2,23	+58 17 13	+18,5
δ² Журавля	4,11 v	M4,5 IIIa	28 16,1	+3,58	−43 52 40	+18,4
5 Ящерицы	4,30 v?	M0 Iab	28 29,1	+2,50	+47 34 43	+18,5
6 Ящерицы	4,48	B2 I	29 24,3	+2,59	+42 59 42	+18,5
β Юж. Рыбы	4,29	A0 V	30 05,2	+3,40	−32 28 29	+18,5
α Ящерицы	3,77	A1 V	30 15,4	+2,48	+50 09 13	+18,5
η Водолея	4,00	B8 V	34 04,2	+3,08	−00 14 49	+18,6
ε Юж. Рыбы	4,16	B8 V	39 16,5	+3,31	−27 10 28	+18,8
11 Ящерицы	4,46	K3 III	39 24,8	+2,64	+44 08 44	+18,8
ζ Пегаса	3,40	B8 V	40 12,8	+2,99	+10 42 02	+18,8
β Журавля	2,11 v	M5 III	41 10,8	+3,57	−47 00 57	+18,9
η Пегаса	2,92 v?	G8 II	41 49,6	+2,82	+30 05 24	+18,9
β Октанта	4,14	A9 V	43 35,8	+5,98	−81 30 49	+18,9
λ Пегаса	3,94	G8 II	45 19,4	+2,89	+23 26 01	+19,0
ξ Пегаса	4,19	F7 V	45 26,5	+3,00	+12 02 39	+18,5
ε Журавля	3,47 v?	A2 V	47 03,1	+3,61	−51 26 55	+19,0
τ Водолея	3,98 v?	M0 III	48 16,1	+3,17	−13 43 30	+19,0
ι Цефея	3,53	K1 III	48 47,1	+2,14	+66 04 07	+19,0
μ Пегаса	3,48	G8 III	48 47,6	+2,90	+24 28 09	+19,0
γ Южной Рыбы	4,45 v?	A0 V	51 08,3	+3,33	−33 00 31	+19,1
λ Водолея	3,79 v	M2 III	51 18,6	+3,13	−07 42 47	+19,2
δ Водолея	3,25 v?	A3 V	53 19,4	+3,18	−15 57 15	+19,2
δ Южной Рыбы	4,18	G8 III	54 34,0	+3,32	−32 40 25	+19,2
α Южной Рыбы	1,15 v?	A3 V	56 16,3	+3,31	−29 45 19	+19,1
ζ Журавля	4,11	G5 III	59 24,6	+3,53	−52 53 19	+19,3
ο Андромеды	3,62 v	B6 I	23 00 46,0	+2,77	+42 11 29	+19,4
β Пегаса	2,42 v	M2 II	02 33,5	+2,91	+27 56 49	+19,6
β Рыб	4,52	B5 V	02 36,2	+3,05	+03 41 07	+19,4

Звезда	B—V	π, 0″,001	μ_α, 0″,001	μ_δ, 0″,001	V_r, км/с	l	b	Примечание
α Cep	$0^m,22$	64	+148	+50	−10,5	101°	+9°	507
ι Cap	0,91	24	+32	+7	+11,5	34	−41	
1 Peg	1,11	15	+105	+65	−76,4	70	−21	508
γ Pav	0,48	114	+88	+800	−29,8 *v*	328	−40	509
ζ Cap	1,00	6	−1	+24	+3,0 *v*	27	−44	510
β Cep	−0,22	4	+10	+10	−5 *v*	108	+14	511
β Aqr	0,84	3	+16	−6	+6,1	48	−38	512
ρ Cyg	0,89	19	−24	−91	+6,9	91	−5	
γ Cap	0,32	27	+185	−21	−31,2 *v*	36	−45	
ν Oct	0,99	48	+53	−231	−34,5 *v*	314	−35	513
μ Cep	2,26	13	0	−2	+19,3 *v*	101	+4	514
ε Peg	1,52	4	+25	+2	+4,9	66	−31	515
μ Cyg	0,48	45	+287	−241	+18	81	−18	516
9 Peg	1,18	4	+7	−13	−22,3	72	−26	517
ι PsA	−0,05	30	+33	−94	+2,5 *v*	13	−50	518
κ Peg	0,44	28	+33	+10	−8,1	78	−21	519
ν Cep	0,52	5	−3	0	−20,8	102	+6	
δ Cap	0,29	67	+261	−293	−0,2 *v*	38	−44	520
π^2 Cyg	−0,12	3	+3	−1	−12,3 *v*	95	−3	521
γ Gru	−0,12	11	+101	−14	−1,1	6	−51	
ξ^2 Cep	0,34	29	+208	+87	−10,7	106	−7	522
α Aqr	0,97	3	+15	−5	+7,5	60	−42	
λ Gru	1,37	9	−28	−120	+38,8	2	−54	
ι Aqr	−0,07	14	+38	−55	−9,5 *v*	43	−49	
ι Peg	0,44	74	+295	+24	−4,4 *v*	82	−24	523
α Gru	−0,13	48	+121	−151	+11,8	350	−52	524
μ PsA	0,05	23	+75	−37	+11,6	13	−54	
π Peg	0,46	3	−15	−22	+2,0	88	−19	
θ Peg	0,07	40	+272	+30	−7,0 *v*	67	−39	
ζ Cep	1,55	15	+14	+6	−18,7	103	+2	525
8485 Lac	1,39	18	+41	+6	−10,6 *v*	93	−14	526
ε Cep	0,28	39	+444	+48	−0,6	103	0	527
1 Lac	1,46	10	+11	+5	−7,8	92	−16	
θ Aqr	0,99	17	+114	−18	−14,7	53	−49	
α Tuc	1,39	23	−69	−39	+42,1 *v*	330	−48	528
γ Aqr	−0,06	37	+126	+11	−15,0 *v*	62	−46	529
β Lac	1,02	19	−17	−188	−10,4	101	−4	
ζ Aqr	0,40	13	+204	+46	+25	65	−46	530
δ^1 Gru	1,03	17	+23	−5	+4,9	354	−57	
δ Cep	0,88	4	+12	+2	−16,5 *v*	105	+1	531
δ^2 Gru	1,57	−11	−13	+1	+2,3 *v*	353	−57	532
5 Lac	1,68	2	+3	−4	−4,1 *v*	100	−9	
6 Lac	−0,09	5	−8	−2	−12 *v*	97	−13	533
β PsA	0,01	16	+63	−11	+6,3	15	−59	534
α Lac	0,01	35	+134	+17	−4,0	101	−7	535
η Aqr	−0,10	17	+87	−52	−8,0 *v*	67	−48	
ε PsA	−0,12	14	+27	0	+3,0	25	−61	
11 Lac	1,33	8	+91	+12	−10	100	−13	
ζ Peg	−0,09	18	+77	−8	+7	79	−41	536
β Gru	1,62	3	+134	−9	+1,6	346	−58	537
η Peg	0,86	11	+10	−25	+4,3 *v*	92	−25	538
β Oct	0,21	—	−49	+3	+23,9 *v*	308	−34	
λ Peg	1,08	37	+52	−12	−3,9	89	−31	
ξ Peg	0,50	47	+229	−495	−5,3	81	−40	539
ε Gru	0,08	38	+102	−60	−0,5 *v*	338	−57	
τ Aqr	1,59	11	−17	−34	+1,0	52	−59	
ι Cep	1,05	34	−67	−122	−12,4	111	+6	
μ Peg	0,94	33	+145	−41	+13,9	91	−31	
γ PsA	−0,05	37	−35	−24	+16,5	13	−64	540
λ Aqr	1,65	12	+4	+40	−8,8	62	−56	541
δ Aqr	0,05	39	−41	−21	+18,0	50	−61	
δ PsA	0,94	15	+13	+32	−11,6	14	−64	542
α PsA	0,09	147	+328	−164	+6,3	20	−65	543
ζ Gru	0,98	33	−67	−12	−1,1 *v*	334	−57	
ο And	−0,09	8	+22	−2	−14,0 *v*	102	−16	544
β Peg	1,67	17	+188	+139	+8,7	96	−29	545
β Psc	−0,12	10	+6	−6	+3	79	−50	

Название звезды	Звездная величина V	Спектр	α_{1975}	Годовое изменение α	δ_{1975}	Годовое изменение δ
α Пегаса	$2^m,47$ v?	B9 V	$23^h03^m30^s,8$	$+2^s,99$	+15°04′13″	+19″,4
c¹ Водолея	4,48	gG9	05 18,8	+3,22	−23 52 40	+19,4
θ Журавля	4,29	F6 IV	05 28,5	+3,38	−43 39 21	+19,4
55 Пегаса	4,50 v?	M2 III	05 44,6	+3,02	+09 16 27	+19,5
π Цефея	4,40	G2 III	07 05,8	+1,92	+75 15 08	+19,5
c² Водолея	3,64	K2 II	08 06,9	+3,19	−21 18 30	+19,6
ι Журавля	3,90	K0 III	08 56,9	+3,39	−45 22 57	+19,5
φ Водолея	4,22	M2 III	13 01,6	+3,11	−06 11 03	+19,4
ψ¹ Водолея	4,25	K0 III	14 34,9	+3,14	−09 13 27	+19,6
γ Рыб	3,69	G8 III	15 52,1	+3,11	+03 08 44	+19,7
γ Тукана	3,98	F0 III	15 58,7	+3,48	−58 22 23	+19,8
ψ² Водолея	4,40	B5 V	16 36,2	+3,12	−09 19 09	+19,7
γ Скульптора	4,41	G8 III	17 28,6	+3,23	−32 40 06	+19,6
b¹ Водолея	3,98	K0 III	21 39,5	+3,15	−20 14 14	+19,7
υ Пегаса	4,41	F8 IV	24 07,7	+3,00	+23 15 59	+19,8
b² Водолея	4,40	K5 III	24 44,0	+3,15	−20 46 45	+19,7
θ Рыб	4,29	K1 III	26 41,9	+3,04	+06 14 29	+19,8
β Скульптора	4,35 v?	B9 V	31 38,0	+3,21	−37 57 25	+19,9
λ Андромеды	3,87 v	G8 III	36 20,0	+2,94	+46 19 21	+19,5
ι Андромеды	4,26 v?	B8 V	36 54,3	+2,95	+43 07 46	+19,9
γ Цефея	3,21 v?	K1 IV	38 18,4	+2,48	+77 29 34	+20,1
ι Рыб	4,12 v?	F7 V	38 39,7	+3,09	+05 29 26	+19,5
κ Андромеды	4,14	B9 IV	39 10,2	+2,96	+44 11 43	+19,9
ρ Кассиопеи	4,3 v	F8 I	53 07,5	+3,01	+57 21 37	+20,0
ω Рыб	4,01	F4 IV	58 01,5	+3,08	+06 43 30	+19,9
ε Тукана	4,49	B8 V	58 37,6	+3,10	−65 42 59	+20,0

Примечания к табл. 27. Приведены: названия 60 ярких звезд, данные о двойственности или кратности звезды (приведены спутники лишь ярче $13^m,0$) и о переменности блеска (тип, амплитуда, период). Если в таблице указано v или v?, но в примечаниях нет данных, это значит, что амплитуда изменений блеска $<0^m,1$ (имеет место так наз. микропеременность). Если для V_r указано v?, — это означает возможность спектральной двойственности. Для спектрально-двойной (сп.-дв.) указаны период и полуамплитуда кривой лучевых скоростей K (или $K1$ и $K2$). Двоеточие отмечает неуверенные значения; после «; » — возвращение к главному компоненту.

1. Тип Lb?, $\Delta V = 0^m,06$. 2. Сп. $= 9^m,2$ на расст. 82″; сп.-дв. $96^d,7$ и пер. типа α CVn с $P = 0^d,96$ и $\Delta V = 0^m,04$. 3. Сп.-дв. 27^d. 4. AE Cet, $\Delta V = 0^m,14$, оч. короткопер. 5. Сп. $= 8^m,6$, 209″. 6. Сп.-дв. 3849^d, $K = 5,8$ км/с. 7. На расст. 27″ наход. β² — физ. дв. ($4^m,8$ и $6^m,0$, $a = 0'',41$, $P = 44^a$); еще сп. $5^m,2$ на расст. 11′ с теми же μ, V_r и π. 8. Сп.-дв. 9. Сп.-дв. 144^d, $K1 = 47,5$, $K2 = 117,4$ км/с; сп. $= 8^m,9$, 36″, общ. μ; еще сп. $= 11^m,4$, 55″. 10. Сп. $= 13^m$, 28″, общ. μ; сп.-дв. $P \approx 15\,000^d$, $K = 4$ км/с. 11. Опт. сп. $= 8^m$, 64″. 12. Сп.-дв.; сп. $= 11^m,5$, 26″. 13. $\Delta V = 0^m,15$. 14. Сп.-дв и EB $P = 17^d,8$, $K = 26,3$ км/с, $\Delta V = 0^m,14$; сп. D. $= 10^m,8$ на расст. 68″ от A. 15. Дв. ($3^m,4$ и $7^m,4$), $a = 12''$, $P \cong 480^a$; сп.-дв. $9^d,21$, $K = 2,2$ км/с. 16. Сп. 11^m, 2″,4, общ. μ; новопод. $\Delta V = 1^m,4$. 17. Опт. сп. D. $= 10^m$, 273″; Сп. C $= 11^m,4$, 34″, сп. B $= 12^m,9$, 42″. 18. $\Delta V = 0^m,5$; сп.-дв. $115^d,7$, $K1 = 17,9$, $K2 = 19,8$ км/с; сп. $= 11^m,5$, 133″. 19. $\Delta V = 0^m,10$; физ. дв., $\Delta m = 0^m,2$, 1″,4, общ. μ; сп. C $= 11^m,5$, 58″. 20. Сп. $\Delta m = 2^m,8$, 0″,8, общ. μ; A — сп. и затм. дв., $1^d,67$, ампл. $0^m,5$, $K1 = 131$, $K2 = 201$ км/с; сп. $= 7^m,0$, 6″,4. 21. Дв. ($4^m,5$ и $6^m,0$, $a = 0'',42$, $P = 372^a$). 22. $\Delta V = 0^m,1$. 23. Сп.-дв. $P \sim 30^a$. 24. Сп.-дв. 25. EA $P = 759^d$, $\Delta V = \sim 0^m,1$. 26. Сп.-дв. $P = 193^d,8$, $K = 16,0$ км/с; $\Delta V \sim 0^m,1$, тип? 27. Физ сп. $10^m,7$, $\sim 0'',7$; B — пер. от 8^m до $>11^m,5$. 28. Сп.-дв.? 29. Сп.-дв. 198^d, $K = 1,8$ км/с. 30. Ахернáр; сп.-дв.? 31. Непр. пер. $\Delta V = 0^m,1$, сп.-дв. $126^d,7$, $K1 \geqslant 42,5$, $K2 \geqslant 77,5$ км/с. 32. Дв. ($3^m,7$ и $6^m,7$, 3″,4); сп. $= 10^m,2$, 14′, общ. μ. 33. Сп.-дв. 1652^d, $K = 3,3$ км/с; опт. сп. $= 10^m$, 187″. 34. Сп.-дв. $1^d,74$, $K = 12,4$ км/с; опт. сп. $= 12^m,9$, 85″; сп. $= 12^m,2$, 222″. 35. Физ. сп. $\Delta m = 0^m,2$, 7″,8. 36. $\Delta V = 0^m,15$, $P = 30^d$?, но м. б. оч. короткопер.; сп.-дв. 37. Сп.-дв. 107^d, $K = 37,1$ км/с. 38. Сп. $= 10^m,7$, 5″,0, общ. μ. 39. Физ. сп., $\Delta m = 2^m,5$, $a = 0'',6$, $P = 63^a,3$; B — v? с ампл. $\sim 1^m,5$; опт. сп. $= 13^m$, 48″. 40. Физ. сп., $\Delta m = 1^m,0$, $a = 2'',66$, $P = 720^a$; оба комп. v?. 41 Сп.-дв. с двумя спектрами. 42. Аламáк. Сп. $= 5^m,1$,

Звезда	$B-V$	π, 0",001	μ_α, 0",001	μ_δ, 0",001	V_r, км/с	l	b	Примечание
α Peg	$-0^m,04$	32	+58	−41	−2,7 *v*	88°	−40°	546
c¹ Aqr	0,90	20	+63	−2	+15,2	35	−66	
θ Gru	0,43	12	−44	−23	+10	348	−63	547
55 Peg	1,58	11	+7	−12	−5,4	85	−46	
π Cep	0,82	2	+10	−25	−19,6 *v*	116	+14	548
c² Aqr	1,23	6	+53	+37	+21,4	42	−66	
ι Gru	1,02	23	+131	−29	−4,3 *v*	344	−63	549
φ Aqr	1,55	8	+33	−192	−0,4	71	−59	
ψ¹ Aqr	1,11	40	+369	−11	−25,7	67	−61	550
γ Psc	0,91	26	+756	+22	−13,6	82	−52	
γ Tuc	0,40	36	−31	+84	+18,4	342	−55	
ψ² Aqr	−0,14	8	+15	−7	−6 *v*?	68	−62	
γ Scl	1,13	35	+18	−66	+15,6	12	−69	
b¹ Aqr	1,10	29	−128	−92	−6,5	47	−69	
υ Peg	0,61	32	+188	+37	−11,1	99	−35	
b² Aqr	1,47	2	−55	−56	+15,7	47	−69	
θ Psc	1,08	15	−127	−43	+5,8	89	−51	
β Scl	−0,09	14	+83	+17	+1,7	355	−70	
λ And	1,02	42	+158	−421	+6,8 *v*	110	−15	551
ι And	−0,11	8	+25	+0	−0,5 *v*	92	−53	
γ Cep	1,03	64	−65	+154	−42,1	119	+15	
ι Psc	0,51	68	+371	−435	+5,0	92	−53	
κ And	−0,68	12	+79	−19	−10,5	110	−17	552
ρ Cas	1,1 *v*	16	−5	+3	−43,1	115	−5	553
ω Psc	0,42	16	+147	−111	−6,0 *v*	101	−54	554
ε Tuc	−0,09	—	+52	−26	+11	311	−51	

10", общ. μ; Сп. = γ² — физ. дв. (B = $5^m,4$ и C = $6^m,6$, a = 0",32, P = $61^a,0$); комп. B — сп.-дв. $2^d,67$, $K1$ = 141, $K2$ = 112,5 км/с. **43.** Хама́л. **44.** Полярная. Перемен. типа CW, $\Delta V = 0^m,14$, $P = 3^d,97$, сп.-дв. с двумя P: $P_1 = 3^d,97$, K = 4,1 км/с, и $P_2 = 30^a,5$ (невид. сп.); B = $9^m,0$, 18", сп. C = 13^m, 43", сп. D = 12^m, 83". **45.** Сп.-дв. $31^d,4$, $K1$ = 33,3, $K2$ = 69,2 км/с. **46.** Сп.-дв. **47.** Сп., $\Delta m = 5^m,2$, 87". **48.** Сп.-дв.? **49.** Ми́ра. Прототип долгопер. перем. $P = 331^d,6$, сред. ампл. 8^m; физ. сп. = 10^m = VZ Cet — новопод. зв. Ne на расст. 0",9; еще опт. сп. = 13^m, 73". **50.** Сп.-дв.? **51.** Четверная звезда: физ. сп. $B = 7^m,0$, a = 2",97, $P = 840^a$, физ. сп. $a = 7^m,0$, a = 0",11, $P = 52^a,4$; сп. C = $8^m,4$, 7",6. **52.** Сп.-дв.? **53.** Сп.-дв. $0^d,15$? **54.** Сп. = $7^m,4$, ~3". **55.** Физ. сп. = $10^m,0$, 18", $P = 2720^a$. **56.** Сп.-дв. 1202^d, K = 14,4 км/с. **57.** Сп.-дв. 958^d, K = 3,0 км/с. **58.** Опт. сп. D = 9^m, 128"; сп. B = $10^m,8$, 25", сп. C = $10^m,6$, 31". **59.** Сп. B = $7^m,9$, 29", общ. μ; сп. C = $9^m,9$, 67", сп. D = $10^m,4$ на расст. 5",2 от C. **60.** Физ. дв.: A = сп.-дв. $1515^d,6$, K = 19 км/с; физ. сп. B = $10^m,7$, $P = 4^a$; C = $11^m,8$ на расст. 4" от B. **61.** Дв.; $3^m,4$ и $4^m,4$, 8", общ. μ; A — сп.-дв. (два спектра). **62.** Менка́р. **63.** Сп. = $10^m,8$, 57"; A — сп.-дв. **64.** Полуправ. пер., $\Delta V = 0^m,7$, цикл ~40^d:. **65.** Алго́ль. EA, ампл. $1^m,3$, $P = 2^d,867$; сп. C, $\Delta m = 8^m,3$, 82", $P = 1^a,862$; A — сп.-тройная; $K1$ = 12,0, $K2$ = 31,6, $K3$ = 44,0 км/с; обнаружены вспышки радио- и рентген. излучений комп. A. **66.** Физ. сп. = $6^m,6$, $P = 154^a,5$, a = 2",70; A *var*?, ампл. ~ 2^m! **67.** $\Delta V = 0^m,11$; физ. сп., $\Delta m = 5^m,5$, 6",0; сп. C = 11^m, 40". **68.** Мирфа́к. **69.** Сп.-дв. 1655^d, K = 4,4 км/с. **70.** Сп.-дв. (два сп.). **71.** Сп. = $8^m,5$, 2",5. **72.** Сп.-дв. 960^d, K = 3,3 км/с. **73.** Сп.-дв. $17^d,9$. **74.** Сп.-дв. $6^d,22$, $K1$ = 107, $K2$ = 103 км/с. **75.** Сп. = $10^m,4$, 99". **76.** Сп. = $8^m,5$, 1",0; A — сп.-дв. и эллипт. перем. $P = 4^d,42$, $K1$ = 109, $K2$ = 159 км/с. **77.** Электра. Сп.-дв. $100^d,5$, K = 26 км/с. **78.** A — пер. типа δ Sct; $\Delta V = 0^m,14$; сп., $\Delta m = 8^m,0$, 31". **79.** Тайге́та. Сп. $8^m,1$, 69". **80.** Сп.-дв. $1911^d,5$, K = 5,2 км/с; сп. B = $8^m,0$, 1480". **81.** Ма́йя. **82.** Альцио́на. Сп. B = $8^m,1$, 117"; сп. C = $8^m,1$, 181"; сп. D = $8^m,7$, 191". **83.** $\Delta V = 0^m,13$; V_r изм. от −11 до +3 км/с. **84.** Атла́с. Сп. B = $6^m,8$, 0",4, A — сп. дв. 1255^d, K = 14,5 км/с. **85.** Дв.: $4^m,86$ и $5^m,42$, 8",6, общ. μ. **86.** Сп. = $9^m,3$, 13", общ. μ; опт. сп. = $9^m,3$, 92". **87.** Сп. = $8^m,1$, 9". **88.** Дв., $\Delta m = 9^m,5$, 53". **89.** Сп.-дв.? **90.** Физ. сп. = $5^m,8$, 7",0; сп. C = $11^m,6$, 166". **91.** Сп.-дв. и EA; $P = 3^d,954$, $\Delta V = 0^m,5$, K = 55,4 км/с; V_r еще изм. с $P = 30^d$. **92.** $\Delta V = 0^m,22$, тип Lb?. **93.** Сп. = $9^m,5$, 137",

94. $\Delta V = 0^m,10$, медл. ($P \cong 55^d$;) или полуправ. 95. Сп. 12^m, 15″, общ. μ; A — сп.-дв. 283^d, $K = 20,7$ км/с. 96. Сп. $\Delta m = 8^m,6$, 49″. 97. Тройная: $4^m,5$ и дв. ($9^m,5$ и $11^m,2$, $P = 250^a$) на расст. 82″, общ. μ; сп. $12^m,5$, 211″ от A. 98. Сп., $\Delta m = 8^m$, 14″. 99. Сп. = $5^m,0$, 0″,4; A — сп.-дв. $5^d,01$, $K1 = 63,8$, $K2 = 64,9$ км/с; сп. $11^m,8$, 49″. 100. Член скопления Гиады. Сп.-дв. $529^d,8$ $K = 3,0$ км/с; сп. = $12^m,6$, 107″. 101. Сп. B = $6^m,4$, 340″; еще 2 сп. ~ 12^m, 156″ (от A) и 107″ (от B). 102. Физ. сп. B = $7^m,5$, 1″,5; сп. C = $8^m,7$, 77″, общ. μ. 103. Сп. = $12^m,5$, 104″; сп.-дв. 104. Сп.-дв. 5200^d, $K = 15,1$ км/с; сп. = $11^m,1$, 137″. 105. Общ. μ с θ^2 Tau. 106. Сп. = $10^m,0$, 182″. 107. Общ. μ с θ^1; сп.-дв. $140^d,7$, $K = 31,0$ км/с. 108. Сп. B = $4^m,4$, $P = 13^a$, сп. C = $10^m,0$, 78″ от AB. 109. Сп. = $8^m,5$, 69″,7, общ. μ; A — сп.-дв. $3^d,57$, $K = 76,3$ км/с. 110. Альдебара́н. $\Delta V = 0^m,2$; сп. C = $11^m,3$, 122″. 111. Сп.-дв. $10\,470^d$, $K = 12,8$ км/с; Физ. сп., $P = 29^a$. 112. Пер. типа β CMa, $P = 0^d,1735$, $\Delta V = 0^m,3$. 113. Сп. C = $10^m,4$, 115″; сп. B = $13^m,3$, 44″. 114. Дв. $\Delta m = 3^m,0$, 0″,7 (в 1959 г.), $P = 53^a$. 115. Дв., $\Delta m = 0^m,3$, 0″,4; м. б. оч. короткопер. с $\Delta V = 0^m,07$. 116. Сп.-дв. $2^d,9565$, $K1 = 53,6$, $K2 = 179$ км/с, $\gamma_0 = +13,6$ км/с. 117. Сп.-дв. $7^d,359$, $K = 19,4$ км/с. 118. Сп. = $8^m,8$, 95″. 119. Сп.-дв.? 120. $\Delta V = 0^m,1$; сп.-дв. $9^d,5$, $K = 26$ км/с. 121. Сп.-дв. 3057^d, $K = 18$ км/с. 122. Сп. и элл. пер. $P = 3^d,70$, $K = 57,9$ км/с. 123. Опт. сп. $\Delta m = 7^m,0$, 32″. 124. Сп. = $7^m,8$, $\rho < 1''$; сп. = 11^m, 26″, общ. μ; A — сп.-дв. $3^d,88$, $K = 35,8$ км/с. 125. $\Delta V = 0,15$. 126. A — сп.-дв. и EA 9890^d, $\Delta V = 0^m,8$, $K1 = 15,0$, $K2 = 17,0$ км/с. 127. Сп.-дв. и EA, ампл. $0^m,6$, $P = 972^d,2$, $K1 = 24,6$, $K2 = 31,4$ км/с. 128. Сп. = $7^m,5$, 82″. 129. Сп. $\Delta m = 8^m,0$, 117″. 130. Сп. = $10^m,7$, 12″,8, общ. μ. 131. $\Delta V = 0^m,4$, тип CVn? 132. Сп. $8^m,4$, 7″,3; A — сп.-дв. $1031^d,4$, $K = 8,7$ км/с; еще сп. = 12^m, 182″. 133. Сп. = $7^m,5$, 3″,0, общ. μ. 134. Ри́гель. Сп. B, $\Delta m = 7^m$, 10″, общ. μ, B — сп.-дв. $9^d,9$, $K1 = 25,0$, $K2 = 32,6$ км/с, B — физ. дв., $\Delta m = 0^m$, $\rho < 0'',2$; A *var*? с $\Delta V = 0^m,27$. 135. Капе́лла. Сп.-дв. ($K = 26,1$ км/с) и интерф. дв. ($a = 0'',054$), $P = 104^d,02$, A = $0^m,9$, B = $1^m,0$; сп. H на расст. 723″ от системы AB имеет общ. с ней μ, H-дв. ($10^m,0$ и $13^m,7$, 2″). 136. Сп., $\Delta m = 7^m,2$, 36″. 137. Сп. = $4^m,8$, 1″,5; A — EB, $\Delta V = 0^m,15$, $P = 8^d,0$; сп.-тройная; $8^d,0$, $K = 145$ км/с, $9^a,2$, $K = 17,5$ км/с; еще сп. = $9^m,4$, 115″. 138. Беллатри́кс. 139. Эль-На́т. 140. Сп. = 11^m, 3″; 141. Дв., $\Delta m = 1^m,5$, $a = 1'',29$, $P = 586^a$. 142. Минта́ка. Затм. и сп.-дв., $\Delta V = 0^m,2$, $P = 5^d,73$, $K = 101$ км/с; Сп. C = $6^m,6$, 53″, общ. μ. 143. Полуправ. пер., цикл. 165^d, $\Delta B = 0^m,4$. 144. Арне́б. Сп. = 11^m, 36″. 145. Cδ, $\Delta V = 1^m,2$, $P = 9^d,84$; сп.-дв. с тем же *P*. 146. Сп.-дв. $8^d,4$, $K = 13,3$ км/с. 147. Сп., $\Delta m = 1^m,9$, 4″; A — *v*? ($\Delta V = 0^m,11$), B — *v*? и сп.-дв.?; еще сп. 11^m, 28″. 148. Сп. = $7^m,3$, 11″,3; A — сп.-дв. 29^d, $K1 = 115,2$, $K2 = 195,8$ км/с. 149. Сп.-дв. $132^d,9$, $K = 8,9$ км/с. Тип γC, $\Delta V = 0^m,13$. 150. Физ. сп., $\Delta m = 2^m,0$, 0″,3, $P = 125^a$, сп. C = $10^m,3$, 10″; сп. D = $7^m,2$, 13″, общ. μ. 151. Факт. Сп. = 12^m, 12″,6. 152. Альнита́к. Физ. сп., $\Delta m = 2^m,2$, $a = 2'',4$, $P = 1509^a$. 153. Сп. = $6^m,2$, 96″, общ. μ, V_r и π; общ. μ с γ Lep. C = 11^m, 45″ от B. 154. Сп. = $9^m,3$, 56″,4. 155. Бе́тельгейзе. Сп. 11^m, 176″. A — полуправ. пер. (ампл. $0^m,9$, цикл 2070^d) и сп.-дв. $5^a,8$ $K = 3,1$ км/с. 156. Сп. = $12^m,8$, 34″. 157. Менкалинан. Дв.: сп. B = $10^m,6$, 185″; A — сп. и затм. дв., ампл. $0^m,1$, $P = 3^d,960$, $K1 = 107,5$, $K2 = 111,5$ км/с. 158. Сп. — пер. типа CV, $6^m,5 - 9^m,0$, 3″2. 159. $\Delta V = 0^m,10$. 160. Физ. сп., $\Delta m = 2^m,3$, $a = 0'',276$; $P = 17^a,5$; A — сп.-дв. $4^d,45$, $K = 28,4$ км/с. 161. Сп. B = $4^m,75$, $a = 0'',19$; $P = 13^a,2$; B — сп.-дв. $9^d,60$, $K = 51,7$ км/с; сп. = 13^m, 97″. 162. Сп.-дв. $131^d,2$, $K = 33,3$ км/с. 163. Вероятно, общ. μ и V_r с ν Ori; Сп. = 13^m, 40″. 164. Сп. = $8^m,8$, 1″,4, $P = 274^a$; A — сп.-дв. 2982^d, $K = 8,8$ км/с и затм. дв. с. ампл. $0^m,8$, $P = 233^d,4$. 165. Сп. = 13^m, 51″. 166. Сп.-дв. 675^d, $K = 13,5$ км/с; сп. (м. б. опт.) = $7^m,7$, 158″. 167. Сп.-дв. 869^d, $K = 10,6$ км/с. 168. Короткопериод. пер., $\Delta V = 0^m,15$; сп. = $9^m,7$, 122″ (дв.: $9^m,8$ и $10^m,7$, 0″,8). 169. Мурзи́м (или Мирза́м). Прототип пер., $\Delta B = 0^m,17$, $P_1 = 0^d,2500$, $P_2 = 0^d,2513$, период биений $49^d,198$, V_r показ. два периода: $0^d,25$ и 49^d; сп. = $9^m,8$, 186″. 170. Сп.-дв., $K = 43$ км/с; сп. = $6^m,7$, 13″,3, общ. μ; еще сп. = $12^m,2$, 94″. 171. Кано́пус. 172. Сп.-дв. $9^a,6$, $K = 27$ км/с; сп. B = $8^m,6$, 113″. 173. Физ. тройная: A = $4^m,6$, B = $5^m,22$, C = $5^m,60$, A—B = 7″,4, B—C = 3″,0. 174. Пер. типа β CMa и сп.-дв., $\Delta V = 0^m,06$, $P = 0^d,210$, $K = 36$ км/с. 175. Альхе́на. Астрометр. и сп.-дв., $P = 3^a,5$, $K = 11$ км/с. 176. Сп.-дв.?

177. $\Delta V = 0^m,12$; сп. $= 9^m,0$, 110″. **178.** Опт. сп. $= 11^m$, 32″. **179.** Сириус. Физ. сп. $= 8^m,3$ (белый карлик), $a = 7'',50$, $P = 50^a,04$, сп.-дв. с тем же P. **180.** Неправ. пер., $\Delta V = 0^m,22$. **181.** Сп.-дв. $195^d,3$, $K = 24,9$ км/с. **182.** Сп.-дв. $1066^d,0$, $K = 4,1$ км/с. **183.** Сп. $= 12^m,6$, 79″; сп. C $= 12^m,7$, 102″. **184.** $\Delta V = 0^m,18$. **185.** Физ. сп., $\Delta m = 1^m,1$, 0″,9; опт. сп. $= 13^m$, 29″; сп. D $= 9^m,5$, 207″. **186.** Адара́. Опт. сп. $= 7^m,9$, 7″,4. **187.** Сп. $= 8^m$, 96″, общ. μ; A — пер. Cδ, $P = 10^d,15$, $\Delta V = 0,48$, колеб. V_r с тем же P; сп. $= 10^m,5$, 87″. **188.** Дв., $\Delta m = 2^m,6$, 41″; A = E:, $\Delta V = 0^m,2$, $P = 16^d,53$:, B — сп.-дв. $78^d,5$, $K = 43,1$ км/с. **189.** Сп. $= 11^m$, 2″, общ. μ. **190.** Сп. $= 13^m$, 32″. **191.** Полуправ. пер., $\Delta V = 3^m,2$, $P = 141^d$; сп. $= 9^m,5$, 62″. **192.** Интерф. (в 1952 г. $\rho = 0'',102$, $\theta = 112°$) и сп.-дв.; $\Delta m \leqslant 0^m,5$; неправ. пер. с ампл. $0^m,30$:, **193.** Ампл. $0^m,2$—$0^m,3$, характ. время колебаний блеска 20—22^h. V_r — показ. быстрые колебания от +11 до +41 км. **194.** Сп. $= 8^m,0$, 69″,2. **195.** Перем. EB и сп.-дв. $4^d,39$; ампл. $0^m,3$. **196.** Сп. $= 8^m,1$, 84″,4; A — сп.-дв. $154^d,9$, $K = 49,5$; $\Delta V = 0^m,17$. **197.** Сп. $= 8^m,2$, 6″,3; A — сп.-дв. $2238^d,6$, $K = 27,1$ км/с. **198.** Сп. $= 6^m,9$, 179″. **199.** Сп.-дв.? **200.** Сп.-дв. $389^d,0$, $K = 18,6$ км/с; сп. $= 12^m$, 119″. **201.** Сп. $= 12^m$, 3″, общ. μ; еще сп. $= 10^m,5$, 214″. **202.** Сп.-дв. 258^d, $K = 18,6$ км/с; сп. $= 9^m,4$, 22″, общ. μ. **203.** Ка́стор. Физ. дв.; $2^m,0$ и $2^m,8$, $a = 6'',30$, $P = 420^a$; сп. C = YY Gem — EA ($8^m,6$—$9^m,1$), 73″ от AB, общ. μ; все — сп.-дв.: α^2 — $9^d,21$, $K = 12,9$ км/с, α^1 — $2^d,93$, $K = 31,9$ км/с, YY Gem — $0^d,8$ (периоды блеска и V_r совпадают). **204.** Сп., $\Delta m = 0^m,1$, 10″. **205.** Про́цион. Сп. (белый карлик) $= 10^m,8$, $a = 4'',55$, $P = 40^a,65$; A — сп.-дв. с тем же P; опт. сп. $= 12^m,2$, 81″. **206.** Сп.-дв. $19^d,6$, $K = 34,2$ км/с. **207.** Сп. $= 9^m$, 17″, общ. μ. **208.** Сп.-дв. 138^d, $K = 3,6$ км/с. **209.** Физ. сп. $= 8^m$, 7″. **210.** По́ллукс. Сп. B $= 13^m,7$, 30″; опт. сп. C $= 8^m,8$, 101″, сп. E $= 9^m,7$, 71″ от C. **211.** Сп., $\Delta m = 8^m,5$, 28″, сп.-дв. **212.** Сп.-дв.; сп. 13^m, 5″,4. **213.** Сп. $= 9^m,6$, 60″. **214.** Сп.-дв. 2660^d, $K = 11,8$ км/с. **215.** Пер. типа δ Sct, $P = 0^d,141$, $\Delta V = 0^m,1$. **216.** Опт. (?) сп. $= 10^m,7$, 32″; сп. C $= 8^m,5$, 67″. **217.** Сп.-дв. $14^d,7$, $K = 66,7$ км/с; сп. $= 8^m,1$, 6″,1. **218.** На расст. 41″ от γ^2; сп.-дв. 3^d. **219.** Дв. (сп. B = γ^1), $\Delta m = 2^m,6$, 41″; сп.-дв. $78^d,5$, $K = 43,1$ км/с; $\Delta V = 0^m,2$, E:, $P = 16^a,23$::; сп. C $= 8^m,5$, 62″, сп. D $= 9^m,4$, 94″. **220.** Пер. типа Lc, ампл. $0^m,1$. **221.** Сп.-дв. 930^d, $K = 10,8$ км/с; сп. $= 9^m,5$, 51″. **222.** Сп., $\Delta m = 7^m,8$, 31″. **223.** Авио́р. $\Delta V = 0^m,12$, E:, $P = 785^d$; сп.-дв. **224.** Сп. $= 13^m$, 13″. **225.** $\Delta V = 0^m,11$; Сп. $= 10^m,8$, 38″. **226.** Сп. $= 12^m,4$, 17″. **227.** $\Delta V = 0^m,03$. **228.** Опт. сп., $\Delta m = 8^m,0$, 38″,4. **229.** Опт. сп. $= 11^m,2$, 47″. **230.** Физ. сп. $= 6^m,5$, 3″,5, еще сп. $= 10^m$ (дв.: 11^m и 12^m на взаимн. расст. 4″), 69″, общ. μ. **231.** Физ. сп., $\Delta m = 2^m,4$, 30″, общ. μ. Оба м. б. перем. **232.** Сп.-дв. **233.** Физ. дв. ($3^m,7$ и $5^m,2$, $a = 0'',21$, $P = 15^a$); физ. сп. C $= 7^m,5$, 3″; сп.-дв. $9^d,90$, $K = 35,0$ км/с; сп. D $= 13^m$, 20″, общ. μ. **234.** Сп. $= 12^m$, 12″, общ. μ; A — сп.-дв.; $P = 8^d,2$, $K = 12,0$ км/с. **235.** Сп. $= 12^m,3$, 29″. **236.** Аку́бенс. Физ. сп. $= 11^m$, 11″,5. **237.** Физ. тройная A—BC; BC (на расст. <0′,2 от A) $= 10^m,8$ (B $= 11^m$, C $= 11^m,7$, $a = 0'',68$, $P = 40^a$), A — сп.-дв. 4038^d, $K = 6,0$ км/с. **238.** Физ. дв.; $4^m,1$ и $6^m,2$, $a = 0'',61$, $P = 21^a,8$; сп.-дв. $7980^d,7$, $K = 4,0$ км/с. **239.** Сп.-дв. $74^d,15$, $K = 17,8$ км/с. **240.** Физ. дв.; $4^m,3$ и $4^m,5$, $a = 0'',27$, $P = 64^a,3$. **241.** Сп.-дв. (два спектра). **242.** Аль-Суха́йль. Дв., $\Delta m = 12^m$, 17″; $\Delta V = 0^m,1$, тип Lc, Ca II в эмиссии. **243.** Опт. сп. $= 10^m$, 62″. Сп.-дв.? **244.** Физ. сп., $\Delta m = 2^m,7$, 2″,8; сп. C $= 10^m,8$, 88″ и сп. D $= 10^m,7$, 178″ от B. **245.** Сп.-дв. $= 116^d,65$, $K = 46,5$ км/с. **246.** Физ. сп. $= 9^m,5$, 2″,4; $\Delta V = 2^m,0$. **247.** Альфа́рд. **248.** Физ. сп. $= 9^m$, 23″; опт. сп. C $= 10^m$, 100″. **249.** Физ. сп., $\Delta m = 1^m,2$, $a = 0'',92$, $P = 34^a,1$; комп. B перем.?, $\Delta V = 0^m,6$. **250.** Долгопер. перем.? **251.** Сп.-дв. $371^d,0$, $K = 4,3$ км/с. **252.** Сп., $\Delta m = 8^m,5$, 27″. **253.** Субра́. Сп.-дв. $14^d,5$, $K1 = 54,1$, $K2 = 63,1$ км/с. **254.** Цефеида, ампл. $1^m,2$, $P = 35^d,54$; сп.-дв. с тем же P. **255.** Сп. $= 6^m,0$, 5″,0, общ. μ. **256.** Сп. $= 12^m$, 11″,6, общ. μ. **257.** Сп. $\Delta m = 7^m,8$, 37″. **258.** Ре́гул. Четверная: сп. B $= 7^m,6$ на расст. 177″ от A, общ. μ, π и V_r; B имеет сп. C $= 13^m$, раздел. 2″,5; $\Delta V = 0^m,05$. **259.** Оптич. сп. $= 11^m,3$, 112″; A — сп.-дв. 1586^d, $K = 3,7$ км/с. **260.** Сп.-дв.? **261.** Сп.-дв., пер.? **262.** Физ. сп., $\Delta m = 1^m,2$, $a = 2'',51$, $P = 619^a$; E, $\Delta V = 0^m,19$. **263.** Сп. $= \sim 8^m$, 7″. **264.** Сп.-дв. 230^d, $K = 7,4$ км/с, пер. типа E?, $\Delta V = 0,34$. **265.** $\Delta B = 0,17$, тип Ia? **266.** Физ. сп., $\Delta m = 0,5$, $a = 0'',32$, $P = 16^a$; A — сп.-дв. $10^d,2$, $K1 = 42,3$; $K2 = 53$ км/с. **267.** Сп. $= 6^m,6$, 52″; еще сп. C $= 11^m,2$, 20″ от B. **268.** Физ. сп., $\Delta m = 4^m,1$, 2″,8, $P = 116^a$ ($\rho < 0'',7$ с 1942). **269.** Сп., $\Delta m = 1^m,8$, 6″,5; B — сп.-дв. **270.** Мера́к. **271.** Ду́бхе. Сп. $= 4^m,8$, $a = 0'',77$, $P = 44^a,0$; оба компо-

пента — пер.? **272.** Сп.-дв.; $\Delta V < 0^m,18$, м. б. цефеида. **273.** Дв.: $4^m,41$ и $4^m,87$, $a = 2'',56$, $P = 59^a,84$; А — сп.-дв. и астрометр. дв. с $P = 669^d,18$, $K = 8,0$ км/с; В — сп.-дв. 4^d, $K = 5,0$ км/с. **274.** Сп. $= 10^m$, $7'',4$, общ. μ. **275.** Физ. дв., $\Delta m = 0^m,6$, $a = 0'',275$, $P = 39^a$. **276.** Физ. дв., $\Delta m = 2^m,7$, $a = 1'',9$, $P = 200^a$, сп.-дв. $K = 2,5$ км/с. **277.** Физ. сп. $= 9^m,6$, $5'',2$, общ. μ. **278.** Сп. $= 11^m,8$, $16'',6$. **279.** М. б. перем.; сп. $= 12^m,4$, $41''$. **280.** Денебо́ла. **281.** Физ. дв., $\Delta m = 0^m,4$, $2'',1$. **282.** Фе́кда. **283.** Дв., $\Delta m = 9^m,3$, $4'',5$, сп.-дв. $24^d,5$, $K1 = 46$, $K2 = 56$ км/с. **284.** Сп., $\Delta m = 7^m,5$, $44''$. **285.** Общ. μ с δ Cen и *4619* ($6^m,4$, $368''$ от δ Cen). **286.** Общ. μ с *4618* и *4619* (см. прим. 285). **287.** Мегре́ц. Сп. В $= 10^m$, $190''$, сп. С $= 11^m,6$, $186''$. **288.** Сп., $\Delta m \sim 1^m$, $\rho = 0'',12$, $\theta = 150°$; сп.-дв. $71^d,9$, $K1 = 30,5$, $K2 = 43,7$ км/с. **289.** $\Delta V = 0^m,6$, неправ.? **290.** (Акру́кс). Сп. В $= 2^m,1$, $4'',4$, общ. μ; сп. С $= 5^m,1$, $90''$; А — сп.-дв. $75^d,8$, $K = 32,8$ км/с. **291.** V_r измен. в пределах от -24 до $+12$ км/с. **292.** Сп. $= 8^m,4$, $24'',4$, общ. μ. **293.** Опт. сп. В $= 6^m,7$, $111''$; сп. С $= 9^m,5$, $155''$. **294.** Сп.-дв. **295.** Сп.-дв. $0^d,89$, $K = 22$ км/с. **296.** Сп.-дв. 2430^d, $K = 2,6$ км/с. **297.** Альгора́б. **298.** Сп., $\Delta m = 10^m$. **299.** Общ. μ с γ Cen. **300.** Общ. μ с τ Cen; физ. дв., $\Delta m = 0^m,1$, $a = 0'',93$, $P = 84^a,5$. **301.** Физ. сп., $\Delta m = 0^m,03$, $a = 3'',75$, $P = 171^a,4$. **302.** Физ. сп., $\Delta m = 0^m,3$, $a = 1'',6$, $P = 383^a$, сп.-дв. **303.** Дв., $\Delta m = 10^m,0$, $44''$. А перем. типа β CMa; $P = 0^d,25$, $\Delta V = 0^m,07$. **304.** Алио́т. Перем. типа α CVn с ампл. $0^m,03$, $P = 5^d,1$, сп.-дв. с периодами $4^a,15$ и $0^d,95$. **305.** Дв., $\Delta m = 1^m,0$, $35''$, общ. μ. **306.** Cor Caroli (Сердце Карла). Физ. сп. $= 5^m,60$, $20''$, общ. μ, π и V_r; А — прототип перем. (блеска, спектра и магнит. поля), $\Delta V = 0^m,1$, $P = 5^d,47$; оба компонента — сп.-дв. **307.** Сп.-дв. 847^d:, $K = 7,8$ км/с:. **308.** $\Delta V = 0^m,19$. **309.** Сп.-дв. $7^d,65$, $K = 38,8$ км/с; сп. $= 9^m,5$, $25''$, общ. μ. **310.** Сп. В $= 9^m,4$, $7'',1$, общ. μ; сп. С на $\sim 1^m$ слабее В и на $0'',5$ от В. **311.** Мица́р. Общ. μ с $\zeta^B = 3^m,95$, $15''$ и с 80g UMa (Алько́р), $12'$; ζ^A = физ. дв. (А—а): $a = 0'',01$, $P = 0^a,056$ и сп.-дв. с тем же $P = 20^d,5$, $K1 = 68,8$, $K2 = 67,6$ км/с и $\gamma_0 = -8,5$ км/с). **312.** Спи́ка. Сп.-дв. и затм. (эллипт.) с $P = 4^d,01$, $K1 = 127$, $K2 = 202$ км/с. **313.** Алько́р. Общ. μ с ζ UMa; м. б. сп.-дв. **314.** Сп., $\Delta m = 8^m,5$, $21'',6$; А — перем. типа o Cet с ампл. $\sim 6^m$, $\bar{P} = 386^d,2$. **315.** Физ. дв., $\Delta m = 0^m,2$, $a = 0'',16$, $P = 79^a$. **316.** Сп.-дв. $9^d,94$, $K = 6,0$ км/с. **317.** Физ. сп. $= 10^m,6$, $\rho = 10''$, P — неск. сотен лет. **318.** Бенетна́ш (и Алька́йд). **319.** = V306 Cen. **320.** Сп.-дв. $2^d,625$, $K = 20,6$ км/с. **321.** Пер. типа γ Cas, $\Delta V = 0^m,5$; сп. $= 13^m$, $48''$. **322.** Вероятно, физ. дв., $\Delta m = 1^m,6$, $9'',4$. **323.** Сп.-дв. 494^d, $K = 8,4$ км/с. **324.** Сп.-дв. $8^d,02$, $K1 = 110,7$, $K2 = 159,4$ км/с. **325.** Сп.-дв. 1025^d, $K = 8,2$ км/с. **326.** Ходо́р. Сп. $= 4^m,1$, $1'',3$; сп.-дв. **327.** Ту́бан. Сп.-дв. $51^d,4$, $K = 46,9$ км/с. **328.** Аркту́р. **329.** Сп. $= 12^m,6$, $35''$. **330.** Сп. $= 11^m$, $69''$, общ. μ. **331.** Физ. дв., $\Delta m = 0^m,0$, $0'',3$; сп.-дв. 3043^d. **332.** Опт. сп. $= 10^m,5$, $58''$. **333.** Сп. $= 11^m,3$, $53''$. **334.** Опт. сп. $= 12^m,7$, $33'',4$. **335.** $\Delta V = 0^m,1$; дв., $\Delta m = 0^m,0$, $0'',1$; еще сп. $= 8^m,9$, $5'',6$. **336.** $\Delta V = 0^m,1$:, тип S. **337.** Толима́н. Физ. сп. В $= 1^m,5$, $a = 17'',6$, $P = 80^a$; сп. С (Про́ксима) $= 11^m$, $2°,2$, общ. μ и π; сп.-дв. P (кроме 80^a) $= 29^d,65$, $K1 = 5,0$, $K2 = 5,0$ км/с. **338.** Дв., $\Delta m = 0^m,4$, $a = 0'',60$, $P = 126^a$, оба комп. v? **339.** Сп. $= 12^m,9$, $27'',6$. **340.** Сп.-дв. **341.** Физ. сп. $= 8^m,8$, $18''$. **342.** Дв.: $2^m,70$ и $5^m,12$, $3'',6$; В — сп.-дв., сп. С. $= 12^m,3$, $178''$. **343.** Общ. μ с 8 Lib $= 5^m,8$, $231''$. **344.** Физ. сп., $\Delta m = 0^m,0$, $0'',1$. **345.** Мера́к. **346.** Сп.-дв. **347.** Сп. $= 11^m,2$, $3'',8$. **348.** Физ. дв.: $4^m,7$ и $4^m,8$, $1'',6$. **349.** Сп. $= 4^m,45$, $a = 0'',42$, $P = 72^a,88$. **350.** Дв.: $3^m,9$ и $5^m,7$, $27''$, общ. μ. **351.** Сп. $= 7^m,1$, $72''$, общ. μ. **352.** Сп. $= 7^m,8$, $105''$, общ. μ. **353.** Зубене́ш. **354.** Вероятно, сп.-дв. (V_r измен. от $+5$ до -16 км/с). **355.** Дв. с $\Delta m = 0^m,2$, $1'',2$; общ. μ с $7^m,2$, $24'',3$. **356.** Сп.-дв. $0^d,108$ (элементы меняются). **357.** Сп.-дв. $1^d,5598$, $K1 = 56,1$, $K2 = 64,8$ км/с, сп. В $= 5^m,1$, $1'',4$; еще сп. $= 9^m$, $27''$, общ. μ. **358.** Тройная система; ВС $= 6^m,7$, $108'',5$, общ. μ; ВС: $7^m,1$ и $7^m,8$, $a = 1'',463$, $P = 260^a,1$. **359.** Виз. и сп.-дв.: $P = 10^a,5$, $K = 9,2$ км/с; еще колеб. V_r с $P = 320^d,1$, $K = 1,4$ км/с. **360.** Сп., $\Delta m = \sim 2,5$. **361.** Сп. $= 3^m,6$, $a = 0'',59$, $P = 147^a,0$. **362.** Дв., $\Delta m = 1^m,0$, $3'',9$. **363.** Альфе́ка. Затм. и сп.-дв. с $P = 17^d,36$, $\Delta V = 0^m,1$, $K = 35,8$ км/с, **364.** Сп. $= 12^m$, $42''$, общ. μ. **365.** Дв., $\Delta m = 5^m,4$, $83''$. **366.** Сп. $= 12^m$, $3'',3$. **367.** Сп. $= 11^m$, $12''$, общ. μ. **368.** Физ. сп., $\Delta m = 3^m,0$, $a = 0'',74$, $P = 91^a,0$; сп.-дв. (два спектра). **369.** Опт. сп. $= 11^m,6$, $62''$. **370.** Сп. $= 9^m,2$, $32''$, общ. μ; на расст. $1642''$ двойная ($8^m,4$ и $10^m,5$, $6''$) разделяет общ. μ. **371.** Сп.-дв. 1837^d, $K = 2,8$ км/с. **372.** Сп.-дв. $15^d,26$, $K = 135,6$ км/с. **373.** Сп. $= 10^m,5$, $201'',5$. **374.** Дв., $\Delta m = 8^m,8$, $38''$. **375.** Сп. $= 13^m$, $2'',2$, общ. μ, сп. С $= 11^m,5$, $101'',4$. **376.** Сп.-дв.

1^d,570, $K1$ = 131, $K2$ = 197 км/с; сп. = 12^m,2, 50″. 377. Физ. сп. = 7^m,2, 15″,5; сп. C = = 9^m,3, 15″. 378. Дшу́бба. 379. Сп.-дв. 3^d,071, K = 25,3 км/с. 380. Физ. дв., Δm = = 0^m,3, a = 0″,7, A — сп.-дв., $P \approx 45^a$, K = 3,7 км/с; сп. C = 7^m,3, 7″,2 от B, общ. μ. 381. Акра́б. Физ. сп. = 10^m,6, 0″,5; A — сп.-дв. 6^d,83, K = 129,0 км/с; сп. C = β^2 = = 6^m,9, 14″, общ. μ. 382. Сп.-дв. 560^d,5, K = 2,4 км/с. 383. Четверная система — (A = 4^m,4 и B = 6^m,9, расст. 1″,0) и (C = 6^m,8 и D = 7^m,8, расст. 2″,3), расст. 41″, общ. μ? (для C: μ_α = −0″,011, μ_δ = −0″,016); A — сп.-дв. 5^d,92, K = 26,4 км/с. 384. Дв., Δm = 7^m,5, 30″. 385. Сп. = 9^m,5, 42″. 386. Сп. = 8^m,7, 21″; A — перем. типа β CMa, ΔV = 0^m,12, P = 0^d,247; сп.-дв. 34^d,23, K = 34 км/с, колеб. V_r с P = 0^d,25. 387. Опт. сп. = 9^m,8, 42″; V_r изм. с P = 11^d,9. 388. Физ. сп. = 8^m,8, 6″. 389. Сп. = = 7^m,5, 22″; Сп.-дв. 3^d,26, $K1$ = 122,5, $K2$ = 132,9 км/с; сп. — тоже сп.-дв. 390. Новопод. пер., ΔV = 0^m,6. 391. Анта́рес. Дв.; B = 5^m,4, a = 3″,4, P = 878^a; A — полуправ. перем., ΔV = 0^m,9, цикл 1733^d. 392. Корнефо́рос. Сп.-дв. 410^d,6, K = 12,8 км/с; сп. = = 10^m,1, 256″. 393. Физ. сп. = 4^m,8, a = 0″,93, P = 132^a,0; еще сп. = 11^m,0, 120″, общ. μ. 394. Сп. = 11^m,2, 120″. 395. ΔV = 0^m,07, тип α^2 CV. 396. Сп., Δm = 8^m,4, 51″. 397. Физ. сп. = 5^m,5, a = 1″,37, P = 34^a,5; A — сп.-дв. с тем же P, K = 3,8 км/с. 398. Сп.-дв. и затм. 39^d,48, ΔV = 0^m,16, K = 31,8 км/с; сп. = 11^m, 77″. 399. ΔV = = 0^m,11. 400. EB и сп.-дв. 1^d,446, ΔV = 0^m,3, $K1$ = 185, $K2$ = 280 км/с; общее μ с μ^2 Sco на расст. 346″. 401. Общ. μ с μ^1 Sco (346″). 402. Сп.-дв. (два спектра). 403. М. б. V_r пер. (от −6,0 до −44,0 км/с). 404. Сп.-дв. 4^d,02, $K1$ = 70,7, $K2$ = 112,0 км/с. 405. Физ. сп., Δm = 0^m,5, a = 0″,86, P = 88^a. 406. Рас Альге́ти. Физ. дв.: 3^m,5 и 5^m,4, 4″,5; A — полуправ. пер. с ампл. 1^m,0 и циклом $\sim 100^d$; B — сп.-дв. 51^d,6, K = = 36,1 км/с. 407. Физ. дв., Δm = 0^m,06, a = 13″,9, P = 248^a,70; сп.-дв. 52^d, сп. C = = 6^m,7, 732″, общ. μ и π; сп. D = 8^m,2, 195″. 408. Опт. сп. 8^m,3, 9″. 409. ΔV = 0^m,09. 410. Сп., Δm = 4^m,0, 48″. 411. Сп. = 9^m, 3″. 412. A — сп.-дв. 0^d,29 и перем. типа β CMa, ΔV = 0^m,02, P = 0^d,14. 413. Физ. сп., Δm = 0^m,9, 4″,2. 414. Сп. = 10^m, 18″. 415. Ампл. 0^m,26. 416. Сп. = 10^m,7, 47″. 417. Сп. = 12^m,5, 56″; ΔV = 0^m,14. 418. Сп. = = 12^m, 95″, сп.-дв. 5^d,6. 419. Рас Альхаг. ΔV = 0^m,11. 420. Сп.-дв. 2^d,29, K = = 19,4 км/с. 421. Тип δ Sct, ΔV = 0^m,06, P = 0^d,053. 422. Сп. = 10^m,2, 33″,7; сп.-дв. Δm = 0^m,5, a = 1″,3, P = 43^a. 423. Дв., Δm = 9^m,4, 38″, A — сп.-дв. 424. Этамин; сп. 11^m, 13″. 425. Сп. = 9^m, 56″. 426. Сп. = 4^m, 5, 7″. 427. Физ. сп. = 9^m, 1″,0. 428. Дв. Δm = 1^m,7, и сп.-дв. K = 3,4 км/с, a = 4″,55, P = 87^a,8; Aa — сп.-дв. и астрометр. дв. P = 18^a,1. 428′. Сп. = 14^m, 25″, общ. μ; опт. сп. = 11^m, 54″. 429. Неправ. пер., ампл. 0^m,1. 430. Физ. сп., Δm = 7^m,0, 23″. 431. Затм. (EA), ΔV = 0^m,14 и сп.-дв. 180^d, K = 56,8 км/с; Сп. B = 11^m,5, 16″,9; сп. D = 9^m,9, 48″; сп. E = = 9^m,4, 50″. 432. Физ. сп. 7^m,8, 4″,4; сп. 13^m, 33″. 433. Сп. = 13^m, 58″; еще 2 слаб., более близкие сп. 434. Сп. = 12^m,1, 180″. 435. Сп. = 8^m,6, 3″,3, общ. μ; A — сп.-дв. 2214^d, K = 17,9 км/с. 436. Сп., Δm = 1^m,7, 0″,7, большой P; A — сп.-дв. 26^d,77, K = = 26,6 км/с. 437. Сп.-дв. и астрометр. дв. 280^d,5, K = 18,0 км/с, a = 0″,06; еще 2 слаб. сп. 438. Ка́ус Аустра́лис. Сп., Δm = 11^m,3, 32″,5. 439. Ка́ус Боре́алис. 440. Ве́га. Опт. сп. = 9^m,5, 57″. 441. Сп., Δm = 8^m,1, 56″. 442. Четверная система; ε^1 (5^m,0 и 6^m,3 на расст. 3″,6) и ε^2 (5^m,1 и 5^m,4 на расст. 3″,0) на расст. 208″, общ. μ и V_r. 443. Сп. (ζ^2) = 5^m,74, 44″, общ. μ; Сп.-дв. 4^d,30, K = 51,2 км/с. 444. Сп. = 11^m, 63″. 445. Сп.-дв. 834^d, K = 16,7 км/с. 446. Сп. и затм. дв. (EB) 12^d,935, ампл. 0^m,9, $K1$ = 184, $K2$ < 50 км/с; колеб. γ_0 в 4^a,2, откр. радиоизлуч.; сп. B = 8^m,6, 47″; еще один, м. б. физ. сп. 447. Дв., Δm = 9^m,0, 63″; быстр. непр. колеб. блеска (3^m,7—4^m,2), иногда ярче на 0^m,3. 448. ΔV = 0^m,11, тип SRc?, сп. = 11^m, 86″. 449. Сп. = 9^m,5, 309″. 450. Полуправ. пер., ампл. 1^m, P = 46^d, Сп.-дв. с P = 41^d,3 и 5^a и K от 4,0 до 4,5 км/с. 451. Физ. дв., Δm = 0^m,4, 22″; полуправ. пер. вероятно, комп. A (4^m,53—4^m,72). 452. Опт. сп. = 12^m, 14″. 453. Физ. сп., Δm = 0^m,2, a = 0″,52, P = 20^a,8. 454. Физ. сп. = 12^m, 5″,6. 455. Физ. дв., Δm = 0,1, a = 2″,07, P = 119^a,3. 456. Тройная, Δm = = 0^m,1, 0″,1 и сп. C = 6^m,0, 0″,4 от AB. 457. Опт. сп. = 8^m,5, 28″. 458. Сп. = 9^m,2, ~100″. 459. Пер. типа δ Sct, P = 0^d,05. 460. Сп., Δm = 2^m,9, 29″, общ. μ, еще сп. = = 11^m,5, 16″,9. 461. Сп.-дв. и астрометр. дв. 1250^d. 462. Альбире́о. Сп. = 5^m,4, 35″. 463. Опт. сп. = 9^m,5, 183″. 464. Сп. = 13^m, 47″. 465. Сп. = 13^m, 3″,6, общ. μ; опт. сп. = 11^m, 48″. 466. Физ. сп. = 6^m,3, a = 2″,56, P = 828^a; сп. B, м. б. v? с ΔV > 2^m,2. 467. Сп.-дв. 3725^d, K = 7,5 км/с. 468. Физ. сп. = 7^m,1, 3″,9. 469. Альтаи́р. Опт. сп.,

$\Delta m = 8^m,7$, 165″. **470.** Пер. типа o Cet $P = 407^d$, ампл. до 11^m ($\overline{m}_{макс} = 5^m,2$, $\overline{m}_{мин} = 13^m,4$). **471.** Цефеида $7^d,2$, $\Delta V = 0^m,7$. **472.** Физ. сп. $= 11^m,4$, 12″,5. **473.** Сп. $= 13^m$, 7″,6, общ. μ; опт. дв., $\Delta m = 6^m,5$, 46″. **474.** Дв., $\Delta m = 2^m,9$, 29″, общ. μ, еще сп. $= 11^m,5$, 16″,9. **475.** Сп.-дв. $2^d,11$, $K = 15,9$ км/с. **476.** $\Delta V = 0^m,13$. **477.** Физ. сп. $= 8^m,4$, 7″,4; еще сп. $= 8^m,4$, 170″. **478.** Сп.-дв. $17^d,1$, $K1 = 51,0$, $K2 = 63,7$ км/с. **479.** V 695 Cyg, EA (ампл. $\sim 0^m,1$); сп.-дв. $P = 3784^d,3$, $K = 14,0$ км/с; сп. C $= 6^m,9$, 107″; сп. D $= 5^m,0$, 338″. **480.** V 1488 Cyg, EA (ампл. $= 0^m,3$), $P = 1148^d$; сп.-дв. с тем же P, $K1 = 17,0$, $K2 = 34$ км/с; сп. $9^m,7$, 209″. **481.** Дв., $\Delta m = 5^m,0$, 46″. **482.** Опт. сп. 7″, — физ.: $11^m,2$ и $11^m,5$, 1″,2. **483.** Кратная система A—B, $\Delta m = 3^m$, 205″, общ. μ; A — сп.-дв. 1374^d, $K1 = 21,9$, $K2 = 20$ км/с; B имеет сп. $= 10^m$, 1″,1; B — сп.-дв. $8^d,7$, $K = 37,9$ км/с. **484.** Садир. Дв., $\Delta m = 7^m,7$, 142″; $\Delta V = 0^m,11$. **485.** Пико́к. Сп.-дв. $11^d,75$, $K = 7,2$ км/с; сп. B $= 9^m,2$, 245″, сп. C $= 10^m,5$, 17″ от B. **486.** $\Delta V = 0^m,14$. **487.** Сп.-дв. $840^d,6$ $K = 13,9$ км/с. **488.** $\Delta V = 0^m,10$. **489.** Физ. дв. ($\Delta m = 1^m,0$) и сп.-дв., $a = 0'',475$, $P = 26^a,6$, $K = 7,6$ км/с, есть еще слаб. и далек. спутники. **490.** Опт. сп. $= 11^m,0$, 32″; сп.-дв. $205^d,2$, $K = 9,8$ км/с. **491.** Опт. сп., $\Delta m = 6^m,8$, 81″. **492.** Денѐб. Дв., $\Delta m = 10^m,4$, 76″. **493.** Пер. типа δ Sct, $\Delta V = 0^m,06$, $P = 0^d,135$. **494.** Физ. сп. $= 9^m$, 6″,6. **495.** Опт. сп. $= 10^m,3$, 66″. **496.** Опт. сп., $\Delta m = 7^m,7$, 68″ (в 1925 г.). **497.** Опт. сп. $= 11^m,5$, 44″. **498.** Физ. сп., $\Delta m = 1^m,0$, 12″. **499.** Дв., $\Delta m = 9^m,3$, 67″. **500.** $\Delta V = 0^m,23$:. **501.** Дв., $\Delta m = 7^m,3$, 26″. **502.** Дв. и сп.-дв., $\Delta m = 0^m,1$, $P = 5^a,70$, $a = 0'',26$, $K = 25$ км/с. **503.** Дв., $\Delta m = 4^m,2$, $a = 0'',96$, $P = 50^a$; сп. $= 12^m,3$, 93″, общ. μ; сп.-дв. $0^d,14$, пер. типа δ Sct, $\Delta V = 0^m,2$. **504.** Сп.-дв. $98^d,81$, $K1 = 6$, $K2 = 5$ км/с. **505.** Сп.-дв. $11^d,0$, $K = 2$ км/с. **506.** Сп. $= 10^m$, 15″, общ. μ. **507.** Альдерамин. Сп. B $= 10^m,4$, 209″; сп. C $= 11^m,1$ и сп. D $= 11^m,3$ на расст. 2″,6 друг от друга и 20″ от B. **508.** Сп. $= 9^m,2$, 36″, общ. μ. **509.** $\Delta V = 0^m,13$. **510.** Сп., $\Delta m = 10^m$, 21″,5. **511.** Альфе́рк. Дв.; сп. $= 8^m,0$, 14″; A — пер. типа β CMa, $\Delta V = 0^m,05$, $P = 0^d,190$; сп.-дв. $10^d,89$, $K = 3,1$ км/с. **512.** Опт. сп. $= 10^m,8$, 35″,7. **513.** Сп.-дв. 1020^d, $K = 8,0$ км/с. **514.** Сп., $\Delta m = 8^m,3$, 20″; A — сп.-дв. и полуправ. пер. с $P = 750^d$ и 4675^d, $\Delta V = 1^m,5$. **515.** Сп. $= 11^m$, 82″, общ. μ; опт. сп., $\Delta m = 6^m,0$, 144″; вспышечн. пер. с ампл. от $0^m,7$ до $3^m,5$. **516.** Физ. сп. $= 5^m,9$, $a = 4'',2$, $P = 508^a$; сп. C $= 6^m,2$, 217″. **517.** $\Delta V = 0^m,15$:. **518.** Дв., $\Delta m = 7^m,0$, 20″; сп.-дв. (два спектра). **519.** Дв., $\Delta m = 0^m,3$, $a = 0'',22$, $P = 11^a,565$; B — сп.-дв. $5^d,97$, $K = 41,7$ км/с, опт. сп. $= 10^m,8$, 14″. **520.** Сп.-дв. и EA, $\Delta V = 0^m,17$, $P = 1^d,023$, $K = 71,7$ км/с, сп. C $= 12^m,5$, 119″. **521.** Сп.-дв. $72^d,0$, $K = 7,8$ км/с. **522.** Физ. сп. $= 6^m,5$, 7″,5. $P \cong 3800^a$, A — сп.-дв. $810^d,9$, $K1 = 7,1$, $K2 = 19,9$ км/с; сп. (м. б. опт.) C $= 12^m,7$, 97″. **523.** Сп.-дв. $10^d,2$, $K = 49$ км/с; сп. $= 11^m,4$, 104″ (вероятно, опт.). **524.** Аль-Найр. Сп. $= 11^m,5$, 29″. **525.** $\Delta V = 0^m,21$:. **526.** Опт. сп., $\Delta m = 6^m,0$, 28″. **527.** Перем. типа δ Sct, $\Delta V = 0^m,05$, $P = 0^d,042$:, опт. сп. $= 9^m,5$, 128″. **528.** Сп.-дв. $4197^d,7$, $K = 7,2$ км/с; астрометр. дв. $a = 0'',068$. **529.** Опт.-сп. $= 12^m$, 50″; сп.-дв. **530.** Дв. ($4^m,3$ и $4^m,5$), $a = 2'',6$, $P = 856^a$; сп. — астрометр. дв., $a = 0'',04$, $P = 25^a,71$. **531.** Сп. $= 6^m,3$, 41″; общ. μ; A — прототип перем. Cδ, $P = 5^d,366$, $\Delta V = 0^m,8$. **532.** $\Delta V = 0^m,1$; опт. сп. $= 8^m$, 61″. **533.** Сп.-дв. 880^d, $K = 9$ км/с. **534.** Дв., $\Delta m = 3^m,5$, 30″, общ. μ. **535.** Опт. сп., $\Delta m = 8^m,0$, 36″. **536.** Дв., $\Delta m = 8^m,0$, 64″. **537.** $\Delta V = 0^m,3$, тип Lc? **538.** Дв., $\Delta m = 7^m,1$, 91″; A = сп.-дв. 818^d, $K = 14,2$ км/с; астрометр. дв., $a = 0'',022$, $P = 2^a,24$. **539.** Физ. сп. $= 11^m,7$, 12″. **540.** Физ. сп. $= 5^m,6$, 4″,5. **541.** $\Delta V = 0^m,1$, тип Lb. **542.** Сп. $= 9^m,3$, 5″,0, общ. μ. **543.** Фомальгáут. **544.** Затм. (EB), ампл. $0^m,13$, $P = 1^d,600$; сп.-дв. $1^d,58$. **545.** Шеáт. Медл. неправ. пер., $\Delta V = 0^m,5$; сп. B $= 11^m,8$, 108″,5; сп. C $= 9^m,6$, 253″. **546.** Макрáб. **547.** Физ. сп., $\Delta m = 2^m,5$, 2″,9. **548.** Физ. сп. $= 6^m,5$, $a = 0'',84$, $P = 150^a$; A — сп.-дв. $556^d,2$, $K = 23,0$ км/с; сп. C $= 12^m,2$, 58″,6. **549.** Сп.-дв. $409^d,6$, $K = 13,6$ км/с. **550.** Сп. BC $= 9^m,8$ (состоит из $10^m,7$ и $10^m,8$, 0″,7) на расст. 49″,7, общ. μ. **551.** Полуправ. пер. $6^d,82$, $\Delta V = 0^m,4$; сп.-дв. $20^d,52$, $K = 6,6$ км/с; измен. Sp с тем же P; сп. C $= 10^m,5$, 18″. **552.** Опт. сп. B $= 11^m$, 47″, сп. C $= 11^m$, 107″. **553.** Полуправ. пер., $\Delta V \approx 2^m$. **554.** Сп.-дв. $2^d,16$, $K = 6,5$ км/с; движение линии апсид с периодом $\sim 100^a$.

Таблица 28а

Список некоторых двойных звезд севернее $\delta = -25°$, имеющих суммарный блеск до $5^m,94$, ρ от 2" до 40", спутник ярче $\sim 9^m$ при $\rho < 20''$ и не слабее $9^m,5$ при $\rho > 20''$

E — эпоха ρ и θ (в скобках даны ρ и θ по эфемериде, вычисленной для двойных звезд с известными элементами орбит)

Название звезды	ADS	α_{1980}	δ_{1980}	m_A	m_B	ρ	θ	E	Примечание
35 Psc	191	$00^h12^m,4$	+08°33′	6,1	7,7	11",6	148°	1958	1
π And	513	00 34,2	+33 26	4,4	8,9	36,0	173	1953	2
55 Psc	558	00 37,3	+21 04	5,7	8,4	6,5	194	1939	
η Cas	671	00 45,9	+57 34	3,7	7,4	(120	308	1980)	3
65 Psc	683	00 47,2	+27 26	6,3	6,3	4,4	297	1959	
And	824	00 57,2	+44 27	6,0	6,8	8,0	192	1958	4
ψ^1 Psc	899	01 03,0	+21 12	5,6	5,8	30,0	160	1959	
ζ Psc	996	01 11,1	+07 19	5,6	6,4	23,1	63	1959	5
χ^1 Cet	1 339	01 39,1	−11 34	6,1	7,4	2,1	90	1959	
1 Ari	1 457	01 47,4	+22 02	6,2	7,4	2,8	166	1959	
α UMi	1 477	01 48,8	+88 02	2,0	8,9	18,4	218	1955	6
$\gamma^{1,2}$ Ari	1 507	01 50,8	+19 03	4,8	4,8	7,8	360	1959	
λ Ari	1 563	01 55,1	+23 21	4,8	7,5	37,2	46	1954	
α Psc	1 615	01 59,4	+02 31	4,3	5,3	(1,7	281	1980)	7
$\gamma^{1,2}$ And	1 630	02 00,8	+42 06	2,3	5,0	9,8	64	1955	8
59 And	1 683	02 07,8	+38 48	6,0	6,7	16,7	34	1949	
ι Tri	1 697	02 09,5	+30 04	5,2	6,6	3,9	72	1955	9
66 Cet	1 703	02 10,2	−02 38	5,8	7,6	16,2	232	1958	
ι Cas	1 860	02 24,9	+67 11	4,7	7,5	(2,4	234	1980)	10
33 Ari	2 033	02 37,8	+26 51	5,5	8,4	28,8	1	1925	11
γ Cet	2 080	02 40,7	+03 02	3,6	7,4	2,8	294	1955	
π Ari	2 151	02 46,5	+17 15	5,3	8,8	3,2	120	1953	12
η Per	2 157	02 47,0	+55 41	3,9	7,9	28,3	300	1932	
Cep	2 294	02 59,3	+79 13	5,8	9,0	4,6	229	1934	
Per	2 270	02 57,3	+52 09	5,4	6,6	12,1	85	1954	
Tau	2 582	03 28,3	+27 24	6,4	6,9	11,0	270	1949	
f Eri		03 46,7	−37 46	5,4	5,9	7,9	212	1957	
w Eri	2 850	03 51,8	−03 08	5,0	6,3	6,8	347	1955	
ε Per	2 888	03 54,5	+39 52	3,0	8,2	8,8	10	1938	
Tau	2 999	04 04,9	+15 02	5,9	8,8	3,8	221	1942	
39 Eri	3 079	04 12,0	−10 23	5,1	8,2	6,4	146	1951	
χ Tau	3 161	04 19,5	+25 31	5,4	8,2	19,4	24	1931	
1 Cam	3 274	04 28,1	+53 48	5,9	6,9	10,3	308	1955	
ω Aur	3 572	04 55,8	+37 49	5,0	8,0	5′,4	359	1950	
Ori	3 579	04 56,2	+14 28	6,0	8,0	39,2	305	1957	
103 Tau	3 709	05 05,1	+24 12	5,5	9,0	35,3	197	1924	13
ρ Ori	3 797	05 10,7	+02 48	4,6	8,6	7,0	64	1938	
ϰ Lep	3 800	05 10,9	−13 00	4,5	7,5	2,6	358	1959	
14 Aur	3 824	05 12,1	+32 38	5,1	8,1	14,6	226	1933	14
β Ori	3 823	05 12,1	−08 15	0,3	7,0	9,5	202	1954	15
Lep	3 910	05 17,1	−18 34	6,2	6,4	39,4	18	1952	
23 Ori	3 962	05 20,2	+03 30	5,0	7,1	31,9	29	1955	
Lep	3 954	05 19,7	−24 49	5,4	6,7	3,2	97	1953	
Ori	3 978	02 20,9	−08 28	5,8	8,5	5,9	142	1933	
118 Tau	4 068	05 26,2	+25 07	5,9	6,6	4,8	204	1957	
Tau	4 131	05 29,3	+17 01	6,0	6,5	9,6	141	1953	11
λ Ori	4 179	05 32,4	+09 54	3,7	5,6	4,4	43	1957	
θ^1 Ori	4 186	05 32,8	−05 25	5,4	6,8	13,0	132	1957	16
ι Ori	4 193	05 33,0	−05 56	2,8	7,0	11,3	141	1932	17
26 Aur	4 229	05 35,4	+30 28	5,5	8,5	12,5	268	1926	18
ζ Ori	4 263	05 38,2	−01 58	2,0	4,2	(2,4	163	1980)	
θ Aur	4 566	05 56,3	+37 13	2,7	7,2	3,2	319	1955	
Ori	4 749	06 06,4	+02 31	6,0	7,0	29,3	114	1929	
41 Aur	4 773	06 07,8	+48 23	6,1	6,8	7,7	356	1957	
ε Mon	5 012	06 21,1	+04 37	4,5	6,6	12,7	28	1955	
β Mon	5 107	06 26,4	−07 06	4,7	5,2	7,3	132	1955	19
S Mon	5 322	06 38,2	+09 57	4,7	7,6	2,8	213	1957	
38 Gem	5 559	06 51,8	+13 15	4,7	7,6	(7,0	148	1980)	20
μ CMa	5 605	06 53,8	−13 59	5,2	8,5	3,0	340	1944	
CMa	5 951	07 14,5	−23 14	4,8	6,8	26,6	55	1959	
δ Gem	5 983	07 17,1	+22 05	3,2	8,2	(6,1	222	1980)	
19 Lyn	6 012	07 18,8	+55 23	5,6	6,5	14,8	315	1956	21
CMa	6 104	07 25,5	−11 27	6,0	8,5	20,0	313	1958	22

Название звезды	ADS	α_{1951}	δ_{1951}	m_A	m_B	ρ	θ	E	Примечание
Pup	6 126	07ʰ27ᵐ,1	−14°53′	6,2	7,6	(0″,9	24°	1980)	
α Gem	6 175	07 31,4	+32 00	2,0	2,9	(2,3	98	1980)	23
Pup	6 190	07 32,2	−23 22	5,9	6,0	9,4	113	1944	
2 Pup	6 348	07 43,2	−14 34	6,1	6,8	16,8	339	1933	
5 Pup	6 381	07 45,6	−12 04	5,6	7,7	2,2	5	1960	
Mon	6 588	08 04,0	−09 06	5,9	8,6	30,9	327	1935	
ζ Cnc	6 650	08 09,3	+17 48	5,6	5,9	(1,0	55	1975)	24
φ² Cnc	6 815	08 23,8	+27 06	6,3	6,3	5,1	218	1958	
Cnc	6 886	08 33,2	+06 48	6,0	7,2	10,3	26	1955	25
ι¹ Cnc	6 988	08 43,7	+28 57	4,2	6,6	30,5	307	1958	26
ε Hya	6 993	08 44,1	−06 36	4,0	6,0	(2,8	286	1980)	27
66 Cnc	7 137	08 58,3	+32 27	6,0	8,1	4,5	137	1960	
38 Lyn	7 292	09 15,8	+37 01	4,0	6,0	2,8	229	1960	
23 UMa	7 402	09 27,6	+63 17	3,8	9,0	22,7	270	1958	28
Hya	7 627	10 01,6	−17 48	5,8	8,0	21,2	273	1933	
γ Leo	7 724	10 17,2	+20 06	2,6	3,9	(4,3	123	1980)	29
TX Leo	7 837	10 32,4	+08 55	5,8	8,5	2,2	157	1960	30
54 Leo	7 979	10 52,9	+25 01	4,5	6,4	6,5	110	1960	31
57 UMa	8 175	11 26,4	+39 36	5,4	8,4	5,4	359	1958	
Crt	8 183	11 27,2	−24 11	5,8	8,8	8,2	80	1954	
90 Leo	8 220	11 32,1	+17 04	6,0	7,3	3,4	209	1960	11
2 Com	8 406	12 01,6	+21 44	6,0	7,5	3,7	237	1960	
2 CVn	8 489	12 13,6	+40 56	5,9	8,2	12	260	1960	
δ Crv	8 572	12 27,3	−16 14	3,1	8,4	24,2	212	1926	
24 Com	8 600	12 32,6	+18 39	5,2	6,7	20	271	1960	11
Crv	8 627	12 38,7	−12 44	6,0	6,1	5,4	129	1960	32
γ Vir	8 630	12 39,1	−01 11	3,6	3,7	(3,9	297	1980)	33
Cam	8 682	12 48,6	+83 41	5,3	5,8	21,6	326	1960	
α CVn	8 706	12 53,7	+38 35	2,9	5,6	20	228	1960	32
UMa	8 710	12 54,1	+54 22	6,0	7,9	3,5	283	1960	11
θ Vir	8 801	13 07,4	−05 16	4,4	9,0	7,1	343	1960	34
ζ UMa	8 891	13 21,9	+55 11	2,4	4,0	14,8	151	1960	35
84 Vir	9 000	13 40,5	+03 47	5,7	8,0	3,0	229	1960	
k Cen		13 48,9	−32 45	4,7	6,2	7,9	108	1954	
κ² Boo	9 173	14 11,7	+52 01	4,5	6,7	13	236	1960	
ι Boo	9 198	14 14,4	+51 36	4,9	7,5	38,5	33	1942	
Boo	9 247	14 20,9	+08 40	5,1	6,6	6,4	192	1960	11
π Boo	9 338	14 38,4	+16 38	4,9	5,8	5,6	108	1960	11
ε Boo	9 372	14 42,8	+27 17	2,7	5,1	3,0	338	1960	11
39 Boo	9 406	14 48,0	+48 55	6,1	6,8	3,0	45	1960	36
ξ Boo	9 413	14 49,1	+19 19	4,8	6,9	(7,2	333	1980)	37
Lib	9 446	14 54,5	−21 11	5,9	8,2	21,8	302	1959	
δ Ser	9 701	15 32,4	+10 42	4,2	5,2	(4,2	178	1980)	
κ Her	9 933	16 05,8	+17 11	5,3	6,5	30	12	1960	
σ CrB	9 979	16 12,8	+33 59	5,7	6,7	(6,7	233	1980)	38
ρ Oph	10 049	16 22,6	−23 20	5,2	5,9	3,1	344	1959	
η Dra	10 058	16 23,3	+61 38	2,9	8,3	5,2	141	1960	
Her	10 105	16 30,3	+45 42	5,7	8,2	16,4	195	1958	
17 Dra	10 129	16 35,0	+53 01	5,6	6,6	3,3	108	1960	39
μ Dra	10 345	17 04,3	+54 32	5,8	5,8	(1,9	50	1975)	40
α Her	10 418	17 12,4	+14 27	3,5	5,4	(4,7	286	1980)	41
δ Her	10 424	17 13,0	+24 54	3,1	8,3	8,9	236	1958	11
o Oph	10 442	17 15,0	−24 14	5,4	6,9	10,3	355	1951	
ρ Her	10 526	17 22,0	+37 11	4,5	5,5	4,0	316	1960	
ψ Dra	10 759	17 42,8	+72 11	4,9	6,1	30	15	1960	
95 Her	10 993	17 59,4	+21 36	5,1	5,2	6,2	258	1960	
70 Oph	11 046	18 02,9	+02 32	4,2	5,9	(2,2	324	1980)	
Dra	11 061	18 03,8	+80 00	5,8	6,2	19,2	232	1960	42
100 Her	11 089	18 05,8	+26 05	5,9	6,0	14	183	1960	
59 Ser	11 353	18 24,6	+00 10	5,4	7,7	3,8	318	1960	43
39 Dra	11 336	18 23,2	+58 46	4,9	7,9	3,8	353	1960	11
Dra		18 32,8	+52 19	6,2	6,2	(25,0	270	1975)	48
Ser	11 640	18 43,0	+05 27	6,3	6,7	2,5	117	1960	11
ε_1 Lyr	11 635 AB	18 42,7	+39 37	5,1	6,0	(2,7	355	1980)	45
ε_2 Lyr	11 635 CD	18 42,7	+39 37	5,1	5,4	(2,3	84	1980)	46
5 Aql	11 667	18 43,9	−01 01	5,8	7,5	13	121	1960	
o Dra	11 779	18 50,5	+59 20	4,9	7,9	34,2	326	1949	47
θ Ser	11 853	18 53,8	+04 08	4,6	5,1	22	104	1960	
15 Aql	12 007	19 02,3	−04 06	5,5	7,2	38,4	209	1959	
η Lyr	12 197	19 12,0	+39 03	4,5	9,0	28,1	82	1955	
Aql	12 248	19 14,2	+14 27	5,6	8,6	8,2	348	1928	

Название звезды	ADS	α_{1980}	δ_{1980}	m_A	m_B	ρ	θ	E	Примечание
β Cyg	12 540	$19^h28^m,7$	+27°51′	3,2	5,1	(34″	54°	1980)	
16 Cyg	12 815	19 40,7	+50 25	6,3	6,4	38	135	1960	
δ Cyg	12 880	19 43,4	+45 00	3,0	6,5	(2,3	232	1980)	48
ζ Sge	12 973	19 46,8	+19 01	5,6	5,8	8,5	311	1925	49
ε Dra	13 007	19 48,3	+70 08	4,0	7,6	3,1	13	1960	
57 Aql	13 087	19 51,9	−08 21	5,8	6,5	36	170	1960	
ψ Cyg	13 148	19 54,4	+52 18	4,9	7,4	3,2′	178	1960	
ϰ Cep	13 524	20 10,7	+77 34	4,4	8,4	7,4	122	1960	
Cyg	13 672	20 16,4	+40 35	6,0	8,2	2,8	245	1960	
Cyg	13 692	20 17,2	+55 14	6,0	7,4	3,5	338	1960	
π Cap	13 860	20 24,5	−18 23	5,2	8,8	3,2	148	1955	
ο Cap	13 902	20 27,0	−18 45	6,1	6,6	21,9	239	1955	
49 Cyg	14 158	20 39,0	+32 08	5,9	8,0	2,7	47	1960	
γ Del	14 279	20 44,4	+15 57	4,3	5,1	10	268	1960	
ε Equ	14 499	20 56,6	+04 06	5,7	6,2	10,9	72	1924	50
59 Cyg	14 526	20 58,1	+47 20	4,9	9,3	20,2	352	1951	
12 Aqr	14 592	21 01,4	−06 01	5,9	7,3	2,3	192	1960	
61 Cyg	14 636	21 04,4	+38 28	5,6	6,3	(28,7	145	1975)	51
Cyg	14 682	21 06,5	+30 00	5,7	7,7	3,5	306	1960	52
1 Peg	14 909	21 19,8	+19 35	4,3	8,4	36,3	311	1954	
β Cep	15 032	21 28,0	+70 20	3v	8,0	13	250	1960	53
Cep	15 184	21 37,4	+57 16	5,6	8,0	12	121	1960	54
Cep	15 405	21 50,3	+55 34	5,5	7,3	18,3	196	1958	55
ξ Cep	15 600	22 02,2	+64 23	4,6	6,5	7,5	277	1960	
41 Aqr	15 753	22 11,5	−21 19	5,7	7,2	5,0	114	1959	
53 Aqr	15 934	22 23,8	−17 00	6,4	6,6	4,4	324	1959	
8 Lac	16 095	22 33,6	+39 23	5,8	6,5	22	186	1960	56
ο Cep	16 666	23 16,4	+67 50	5,0	7,3	(2,9	217	1980)	57
107 Aqr	16 979	23 43,4	−18 57	5,8	0,8	6,5	136	1953	
σ Cas	17 140	23 56,4	+55 29	5,1	7,1	3,0	326	1960	

Примечания к табл. 28а: 1. А — сп.-дв. $0^d,84$. 2. А — сп.-дв. $143^d,6$. 3. $a = 12'',0$; $e = 0,50$; $P = 480^a$. 4. Обе — сп.-дв. 5. Сп. = $6^m,49$, F6 — сп.-дв. $9^d,08$. 6. Полярная. Цефеида. ампл. $0^m,14$; $3^d,97$; сп.-дв. с двумя периодами; $3^d,97$ и $29^a,6$ (невидимый спутник). 7. $a = 2'',65$; $e = 0,60$; $P = 720^a$; обе — сп.-дв. 8. В = γ^2 = дв.; $\Delta m = 0^m,8$; $a = 0'',30$, $e = 0,93$; $P = 61^a,1$. 9. Обе — сп.-дв. $14^d,732$ и $2^d,236$. 10. $a = 2'',27$; $P = 840^a$; сп.-дв. 11. Сп.-дв. 12. Сп.-дв. $3^d,85$. 13. $e = 0,40$; сп.-дв. $58^d,21$. 14. Сп.-дв. $3^d,789$. 15. Ригель. В = дв.; $\Delta m = 0^m,0$; $0'',1$; 170°, 1959; А = сп.-дв. $9^d,86$. 16. Знаменитая трапеция Ориона — шесть компонент; $5^m,36$; $6^m,84$; $6^m,85$; $10^m,8$; $11^m,3$; $16^m,0$ на расстоянии менее 22″. 17. А = O9 — сп.-дв. $29^d,135$; В = КЗП I 100 603. 18. А — дв.; $a = 0'',1$; $P = 53^a,2$. 19. А — дв.; $5^m,22$ и $5^m,60$, $2'',8$; 108°, 1939. 20. $a = 0'',55$; $P = 3190^a$. 21. А = сп.-дв. $2^d,26$. 22. Опт. сп. у А; $9^m,8$; $23'',4$; 157°, 1878. 23. Кастор. $a = 6'',29$; $e = 0,33$; $P = 420^a,1$; обе — сп.-дв.; сп. С $9^m,0$ на 73″. 24. $\zeta^{1,2}$: $a = 7'',28$; $e = 0,25$; $P = 1137^a$; ζ^1 = дв.; $5^m,70$ и $6^m,04$; $a = 0'',95$; $e = 0,31$; $P = 59^a,60$; ζ^2 = дв.; $6^m,26$ и $7^m,8$; $a = 0'',24$; $e = 0,22$; $P = 17^a,64$. 25. А = сп.-дв. $14^d,30$. 26. А = КЗП I 101 000; В — перем.? 27. $a = 9'',08$; $e = 0,63$; $P = 2014^a,13$; А — дв.; $\Delta m = 0^m,3$; $a = 0'',21$; $e = 0,61$; $P = 15^a,04$. 28. А = КЗП I 101 051; опт. сп. 10^m, 96″. 29. $a = 2'',50$; $e = 0,84$, $P = 618^a,56$. 30. Затм. типа Алголя, ампл. $0^m,1$; $P = 2^d,4451$; сп.-дв. 31. Сп.-дв. 32. Обе — сп.-дв. 33. $a = 3'',72$; $e = 0,88$; $P = 171^a,85$. 34. Общее μ. 35. Мицар. А — сп.-дв. $20^d,5$ = КЗП I 101 381; В — сп.-дв. $361^d,3$ = КЗП I 101 382. 36. Сп.-дв. $12^d,82$. 37. $a = 4'',90$; $e = 0,50$; $P = 149^a,95$. 38. $a = 6'',60$; $e = 0,78$; $P = 1000^a$; А — сп.-дв. $1^d,14$. 39. Еще сп. $5^m,64$; 91″, 194°, 1924. 40. $a = 7'',99$; $e = 0,72$; $P = 1922^a,3$. 41. Полуправ. перем., ампл. $1^m,0$; В — сп.-дв. $51^d,6$. 42. В — сп.-дв. $10^d,52$. 43. А — перем. (ампл. $0^m,3$) и сп.-дв. 386^d. 44. А — дв. $\Delta m = 0^m,0$; $0'',3$; 71°, 1955. 45. $a = 2'',78$; $e = 0,19$; $P = 1165^a,6$. Общие μ и V_r с ε^2 (расст. 208″). 46. $a = 2'',95$; $e = 0,49$; $P = 585^a$; В = КЗП I 101 761. 47. А — сп.-дв. $138^d,42$. $a = 2'',56$, $e = 0,30$; $P = 827^a,60$. 49. А — дв.; $\Delta m = 0^m,2$; $a = 0'',15$; $e = 0,85$; $P = 22^a,8$. 50. А — дв.; $\Delta m = 0^m,3$; $a = 0'',66$; $e = 0,70$; $P = 101^a,4$ 51. $a = 24'',44$; $e = 0,41$; $P = 691^a,61$; В имеет невидимый сп. 52. V 389 Cyg, ампл. $0^m,2$; $P = 1^d,13$; сп.-дв. $3^d,31$. 53. Сп.-дв. $0^d,19$. 54. А — сп.-дв. $3^d,7086$; сп. С = $7^m,8$, 20″. 55. А — сп.-дв. $17^d,33$. 56. Еще сп.-дв.; $10^m,2$ и $14^m,5$ на расст. 28″ от А, 155°, 1925. 57. $a = 2'',99$; $e = 0,17$; $P = 796^a,16$.

Таблица 28б

Список некоторых широких звездных пар севернее $\delta = -25°$ с ρ от 40″ до 130″, с суммарной звездной величиной ярче $6^m,0$ и спутником ярче $9^m,5$

ADS	Название	α_{1950}	δ_{1950}	m_1	m_2	ρ	θ	E	Примечание
721	Cas	$00^h50^m,1$	+60°51′	5,0	9,5	130″	171°	1923	1
1 003	37 Cet	01 11,9	−08 11	5,2	8,7	50	331	1931	
2 691	Cam	03 38,6	+59 49	6,0	8,5	55	35	1925	
3 093	40 Eri	04 13,0	−07 44	4,5	9,4	83	105	1940	2
3 159	Eri	04 19,4	−25 51	5,9	8,6	44	41	1926	3
3 588	Lep	04 56,8	−16 27	5,5	8,2	53	34	1914	4
3 698	66 Eri	05 04,3	−04 43	5,3	8,5	53	10	1922	5
4 134	δ Ori	05 29,4	−00 20	2,5	6,6	53	359	1932	5
4 188	θ^2 Ori	05 32,9	−05 27	5,2	6,5	52	92	1960	5
4 241	σ Ori	05 36,2	−02 38	3,8	6,5	42	61	1960	6
4 334	γ Lep	05 42,4	−22 28	3,8	6,4	96	350	1957	
4 890	75 Ori	06 14,4	+09 58	5,3	8,4	117	159	1925	
5 036	5 Lyn	06 22,5	+58 27	5,6	8,1	96	272	1924	
5 425	56 Aur	06 43,1	+43 38	5,4	8,4	36	31	1958	
7 071	57 Cnc	08 51,2	+30 46	5,6	9,2	56	199	1953	7
8 347	65 UMa	11 52,5	+46 45	6,5	6,7	63	114	1960	5
8 530	12 Com	12 20,0	+26 07	4,8	8,3	66	167	1925	8
9 626	μ Boo	15 22,6	+37 33	4,5	7,2	108	170	1960	9
9 951	ν Sco	16 09,1	−19 20	4,3	6,5	41	337	1955	10
10 129	16—17 Dra	16 35,0	+53 01	5,2	5,6	91	194	1956	
10 481	ν Ser	17 18,0	−12 48	4,4	8,4	46	28	1959	
10 628	$\nu^{1,2}$ Dra	17 31,2	+55 13	5,0	5,0	32	312	1960	
10 635	53 Oph	17 32,2	+09 37	5,8	8,5	41	191	1949	
10 966	67 Oph	17 58,1	+02 56	3,9	8,5	55	143	1925	
11 834	ζ Lyr	18 43,1	+37 33	6,1	7,8	45	350	1935	11
12 767	54 Sgr	19 37,9	−16 25	5,4	8,9	46	42	1932	
14 682	389 Cyg	21 06,5	+30 00	5,5v	8,9	58	226	1931	12
15 987	δ Cep	22 27,3	+58 10	~4,0v	7,5	41	191	1960	13
16 376	Lac	22 53,0	+36 05	5,6	9,5	51	243	1923	
16 633	ψ Aqr	23 13,3	+09 22	4,5	9,1	49,4	312	1938	
16 795	AR Cas	23 27,7	+58 16	4,7v	7,1	75,7	269	1922	14

Примечания к табл. 28б: 1. Спутник — тесн. дв. 0″,8. 2. Спутник — дв. 2′. 3. A — дв.: $\Delta m = 0^m,2$, $\rho = 0″,8$; еще сп. $= 11^m,7$ на расст. 37″. 4. A — тесная дв., $\Delta m = 1^m,5$. 5. Сп.-дв. 6. A — дв.; $\Delta m = 3^m,4$, $\rho = 13″$; B — дв.: $\Delta m = 2^m,0$, $\rho = 0″,2$. 7. A — дв., $\Delta m = 0″,2$, $\rho = 1″,5$. 8. A (сп.-дв.) имеет сп. $= 11^m,5$ на расст. 35″. 9. B — дв. ($7^m,2$ и $7^m,8$), $\rho = 2″$. 10. A и B — дв. ($4^m,4$ и $6^m,4$, $\rho = 1″$) и ($6^m,8$ и $7^m,8$, $\rho = 2″$); A — еще и сп.-дв. 11. A имеет сп. $= 10^m,3$, $\rho = 1″,7$. 12. A — пер., имеет сп. $7^m,7$ на расст. 3″. 13. A — цефеида с $P = 5^d,366$. 14. A — алголь (и сп.-дв.) с $P = 6^d,07$, а ампл. $0^m,13$. A имеет сп. $= 10^m,9$ на расст. 1″,2.

Таблица 29

Нахождение общей звездной величины двух близких звезд

По аргументу разности звездных величин Δm отыскивается поправка $\Delta m'$, которую надо вычесть из звездной величины более яркой звезды

Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$
$0^m,00$	$0^m,752$	$0^m,11$	$0^m,699$	$0^m,30$	$0^m,613$	$0^m,85$	$0^m,409$	$1^m,40$	$0^m,264$	$1^m,95$	$0^m,167$	$3^m,0$	$0^m,066$
0 ,01	0 ,748	0 ,12	0 ,694	0 ,35	0 ,592	0 ,90	0 ,393	1 ,45	0 ,253	2 ,00	0 ,160	3 ,2	0 ,056
0 ,02	0 ,743	0 ,13	0 ,690	0 ,40	0 ,571	0 ,95	0 ,378	1 ,50	0 ,243	2 ,1	0 ,147	3 ,4	0 ,046
0 ,03	0 ,738	0 ,14	0 ,685	0 ,45	0 ,551	1 ,00	0 ,364	1 ,55	0 ,234	2 ,2	0 ,134	3 ,6	0 ,039
0 ,04	0 ,733	0 ,15	0 ,680	0 ,50	0 531	1 ,05	0 ,350	1 ,60	0 ,224	2 ,3	0 ,123	3 ,8	0 ,032
0 ,05	0 ,728	0 ,16	0 ,676	0 ,55	0 ,512	1 ,10	0 ,336	1 ,65	0 ,215	2 ,4	0 ,113	4 ,0	0 ,027
0 ,06	0 ,723	0 ,17	0 ,671	0 ,60	0 ,493	1 ,15	0 ,323	1 ,70	0 ,206	2 ,5	0 ,104	4 ,5	0 ,017
0 ,07	0 ,718	0 ,18	0 ,666	0 ,65	0 ,475	1 ,20	0 ,311	1 ,75	0 ,197	2 ,6	0 ,095	5 ,0	0 ,011
0 ,08	0 ,713	0 ,19	0 ,66[illegible]	0 ,70	0 ,458	1 ,25	0 ,299	1 ,80	0 ,189	2 ,7	0 ,087	5 ,5	0 ,006
0 ,09	0 ,708	0 ,20	0 ,657	0 ,75	0 ,441	1 ,30	0 ,287	1 ,85	0 ,181	2 ,8	0 ,079	6 ,0	0 ,004
0 ,10	0 ,704	0 ,25	0 ,635	0 ,80	0 ,425	1 ,35	0 ,275	1 ,90	0 ,174	2 ,9	0 ,072		
0 ,11	0 ,699	0 ,30	0 ,613	0 ,85	0 ,409	1 ,40	0 ,264	1 ,95	0 ,167	3 ,0	0 ,066		

Пример. Общая звездная величина двух звезд $3^m,45$ и $4^m,13$ равна $3^m,45 - 0^m,46 = 2^m,99$.

Таблица 30а

Затменные переменные (E) с $\delta > -20°$ и амплитудой $> 0^m,6$

(EA — алголи, EB — типа β Лиры, EW — типа W Б. Медведицы, m_{II} — блеск во втором минимуме, *v* — визуальные звездные величины, *V* — в системе *V*, *B* — в системе *B*; 73 — карта в АК на 1973 год, IV — в 4-м издании «Справочника любителя астрономии» П. Г. Куликовского, 1971); примечания к этой и другим таблицам переменных звезд см. на стр. 666.

Название звезды и ее тип	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха J.D. 24 +	Период	m_{II}
TW And EA		$0^h00^m44^s$	+32°34′,0	$8^m,8-10^m,96$ V	dF0 + G6	39 020,4104	$4^d,122774$	$9^m,0$ [1])
U Cep EA	73	0 57 46	+81 36,4	6,80—9,10 V	B7 V + G8 III	42 327,7697	2,493083	6,70 [2])
IZ Per EA		1 28 56	+53 45,7	7,8—9,0 p	B8	25 571,360	3,687661	8,3 [3])
MN Cas EA		1 38 49	+54 42,4	8,8—9,4 p	B9	36 164,508	1,916929	9,4 [3])
X Tri EA		1 57 43	+27 38,8	8,9—11,89 B	A3 + G3	39 375,373	0,9715277	9,1 [4])
DM Per EA		2 22 26	+55 52,7	7,71—8,5 p	B6 V	33 251,6930	2,727728	7,78
RY Per EA	IV	2 42 19	+47 56,1	8,5—10,7 p	B8 + G8	27 070,708	6,8635663	8,52
RZ Cas EA	69	2 44 23	+69 25,6	6,2—7,7 V	A3 V	39 025,3025	1,1952499	6,4 [1])
RX Cas EB		3 03 16	+67 23,2	8,6—9,5 v	gG3 + gA5e	24 006,186	32,3203	[1])
β Per EA		3 04 55	+40 45,8	2,12—3,40 V	B8 Ve + G8 III	39 479,647	2,86732442	2,2 [5])
AS Eri EA		3 29 55	−03 28,9	8,33—9,00 V	A2	28 538,066	2,664152	8,53 [6])
RW Tau EA	IV	4 00 49	+27 59,4	8,0—11,5 V	B8 Ve + K0 IV	39 916,7163	2,7688575	[7])
HU Tau EA	69	4 35 19	+20 35,1	5,9—6,7 V	B8 V	42 412,456	2,056302	6,2 [8])
RZ Eri EA		4 41 24	−10 46,5	7,8—8,7 V	A5 + G8 II	23 854,33	39,2826	8,48
ε Aur EA		4 58 22	+43 45,1	2,94—3,83 V	F0ep Ia	35 629	9892	[9])
ζ Aur EA		4 58 58	+41 00,3	5,0—5,54 B	K4 Ia + B7	35 470,025	972,176	
BF Aur EB		5 01 33	+41 13,3	8,5—9,26 p	B5 V + B5 V	34 455,3933	1,5832182	9,2
TT Aur EB		5 06 15	+39 31,4	8,3—9,2 p	B4 + B4	21 242,2564	1,33273365	8,7
SX Aur EB		5 08 10	+42 06,3	8,2—8,9 p	B3 V + B3 V	25 145,4588	1,2100772	8,6
CD Tau EA	73	5 14 34	+20 04,8	7,27—7,9 B	F7 V + F7 V	26 793,353	3,435137	7,9
LY Aur EB		5 26 22	+35 20,2	6,66—7,35 V	O9,5 III	39 061,463	4,002496	7,23 [10])
BM Ori EA		5 32 49	−05 25,0	7,95—8,52 V	B2 V + A5:	40 265,343	6,470525	[11])
ET Tau EA		5 34 33	+27 14,6	9,1—10,1 p	B8	29 362,476	5,996879	9,3
DN Ori EA		5 57 43	+10 13,0	9,8—10,9 p	A2e + gF5	28 497,792	12,966258	9,9
TZ CMa EA		6 39 37	−19 37,5	9,8—10,5 v	A0	27 124,871	1,911446	
AU Mon EA		6 52 22	−01 18,7	8,2—9,5 v	B5 + F0	32 888,554	11,11306	8,4
R CMa EA	73	7 17 12	−16 18,0	5,70—6,34 V	F1 V	39 140,1448	1,1359388	8,8 [12])
RY Gem EA		7 24 33	+15 45,8	8,5—11,3 p	A2 Ve + K2	18 015,4945	9,300706	
UX Mon EA		7 56 50	−07 22,1	8,0—8,94 v	A6p + G2p IV	33 328,849	5,90450	8,24 [13])
YY CMi EB		8 04 03	+02 04,5	8,5—9,1 v	F5	28 023,147	1,0940197	8,9
S Cnc EA		8 41 05	+19 12,9	9,45—11,1 p	B9 V + G8 IV	36 985,029	9,4845516	[1])
TX UMa EA	73	10 42 24	+10 10,9	7,06—8,76 V	B8 + F2	39 193,7168	3,063243	7,13 [1])
RS CVn EA	IV	13 08 18	+36 12,0	8,4—9,92 p	F4 IV—K0 IV	38 889,3300	4,797855	8,55 [14])
ZZ Boo EA		13 53 52	+26 09,8	7,2—7,85 p	F0 + F0	38 565,9192	4,9917440	7,7
U CrB EA	IV	15 16 09	+31 49,7	7,04—8,35 p	B5—A2:	16 747,964	3,4522042	7,1 [1])

Название звезды и ее тип	Карта	α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр	Эпоха J. D. 24 +	Период	m_{II}
TW Dra EA		$15^h33^m07^s$	+64°04′,4	8^m,2—10^m,5 *p*	A5 V + K0 III	38 539,4457	2^d,8068352	8^m,3 [15])
W UMi EA	IV	16 21 12	+86 19,4	8,7—9,8 *p*	A3	39 758,846	1,7011576	8,8
WW Dra EA		16 38 21	+60 47,8	8,29—9,49 *V*	G2 I + K0 I	28 020,3693	4,629583	8,9 [16])
V 1010 Oph EB	69	16 46 36	−15 34,9	6,1—7,00 *v*	A3 V	38 937,7690	0,6614272	6,4 [1])
U Oph EA		17 13 59	+01 15,9	5,88—6,58 *V*	B4 + B5	08 279,641	1,6773460	6,5 [1])
u Her EB		17 15 29	+33 09,2	4,6—5,28 *p*	B3 III + B5 III	05 830,0326	2,0510270	4,9
TX Her EA	IV	17 17 02	+41 56,3	6,54—9,31 *V*	A5 + F0	30 325,202	2,059810	8,75 [17])
Z Her EA		17 55 52	+15 08,5	7,3—8,1 *p*	F4 IV—V	13 086,348	3,9928012	7,4 [18])
SX Dra EA	IV	18 03 49	+58 23,6	9,8—11,6 *v*	A7	32 273,276	5,1692	10,0 [1])
W Ser EE:		18 06 58	−15 33,6	8,42—10,20 *V*	cF5ep	40 048,9	14,16245	[19])
RZ Sct EA		18 23 49	−09 14,0	7,34—8,84 *V*	B3 Ib	19 261,1025	15,1902079	7,8
V 451 Oph EA	IV	18 26 53	+10 51,5	7,86—8,46 *v*	A0 + A2	40 812,398	2,1965988	8,3
RX Her EA		18 28 20	+12 34,6	7,26—7,89 *v*	A0 + A0	33 170,398	1,7785724	7,77
KO Aql EA	IV	18 44 49	+10 42,6	8,3—9,50 *p*	A0 V—A3 V	41 148,560	2,86401	8,4 [1])
β Lyr EB		18 48 14	+33 18,2	3,34—4,34 *V*	B8 II—IIIep	08 247,953	12,913800	3,81 [20])
DI Her EA		18 51 21	+24 12,9	8,3—8,88 *p*	B4 III + B5 III	38 287,5843	10,5501609	8,9 [21])
V 805 Aql EA		19 03 31	−11 43,5	7,81—8,48 *p*	A2 + A7	27 927,8470	2,408230	8,10
V 337 Aql EB		19 01 34	−02 06,3	8,1—8,73 *v*	B0,5p V	39 328,504	2,733894	9,3 [1])
FL Lyr EA		19 10 38	+46 14,2	8,7—9,32 *v*	G5	38 221,5525	2,1781544	8,95
RS Vul EA	71	19 15 33	+22 21,0	6,9—7,63 *p*	B5 V + A2	32 808,257	4,4776635	6,94
V 889 Aql EA		19 16 34	+16 09,5	8,7—9,3 *p*	B9	27 210,596	11,12071	[22])
U Sge EA	IV	19 16 37	+19 31,1	6,58—9,18 *V*	B7e + gG2	40 774,4638	3,3806260	6,34 [23])
Z Vul EA	IV	19 19 35	+25 28,7	7,38—9,20 *B*	B4 V + A2 III	40 475,363	2,454934	7,66 [1])
V 548 Cyg EA		19 55 47	+64 39,8	8,90—9,72 *p*	A0	38 972,1706	1,805244	9,01
V 477 Cyg EA	IV	20 03 29	+31 49,7	8,50—9,34 *V*	A3 + F5	37 317,2764	2,3469876	8,46 [24])
DR Vul EA		20 11 42	+26 35,9	8,65—9,19 *V*	B8	40 300,6680	2,2508645	9,3 [25])
V 478 Cyg EA		20 17 48	+38 10,7	8,9—9,3 *p*	B0 V	18 552,648	2,880891	9,3
MY Cyg EA		20 18 07	+33 47,1	8,7—9,4 *p*	A7:m + A5:m	33 849,610	2,002593	
V 367 Cyg EB	71	20 46 06	+39 06,1	7,38—7,98 *B*	A5pe Ia + A9:	34 266,296	18,5972	7,78 [26])
Y Cyg EA	71	20 50 04	+34 28,1	7,2—7,8 *p*	B0 IV + B0 IV	09 534,3195	2,9963331	7,6 [21])
S Equ EA		20 54 44	+04 53,2	8,0—10,08 *v*	B8 V + F0 V:	37 968,345	3,436072	[1])
RY Aqr EA		21 17 33	−11 01,0	8,8—10,1 *v*	A3	40 824,414	1,966594	8,9 [1])
EE Peg EA		21 37 35	+08 57,4	6,9—7,57 *v*	A4 V + F4	39 324,509	2,628208	7,10 [8])
AW Peg EA		21 50 03	+23 46,6	7,84—9,18 *p*	A4e V—F5 IV	36 783,5617	10,62249	
VV Cep EA		21 55 15	+63 23,3	6,65—7,46 *p*	M2ep Ia + Be	35 931	7430	[27])
CM Lac EA	IV	21 58 03	+44 18,7	8,20—9,15 *V*	A2 + A8	27 026,316	1,6046916	8,83
DX Aqr E		21 59 43	−17 12,4	6,2—6,8 *p*	A2	41 900,508	0,945017	
AR Lac EA	IV	22 06 39	+45 29,8	6,11—6,77 *V*	G5 II + K0 II	39 376,4955	1,9831987	7,15
XZ Cep EB		22 30 51	+66 53,5	8,4—9,2 *p*	O9,5 V	26 033,52	5,0972155	8,7
SZ Psc EA	IV	23 10 50	+02 24,1	8,02—8,69 *B*	K1 IV + F8 V	36 114,565	3,96637	8,10 [28])
XX Cep EA		23 36 01	+64 03,4	9,1—10,28 *p*	A8	38 739,392	2,3373166	9,26 [29])

Таблица 306

Некоторые звезды типа Миры Кита
до $7^m,7$ в максимуме и $\delta > -20°$ (m_v — визуальные звездные величины)

Название	Карта	Координаты		Звездная величина m_v	Спектр Sp	Эпоха J.D. 24 +	Период P
		α_{1950}	δ_{1950}				
SV And		$0^h01^m46^s$	+39°49′,9	$7^m,7-14^m,3$	M5e—M6,5e	41 314	$316^d,09$ [1])
T And		0 19 46	+26 43,2	7,7—14,5	M4e—M7,5e	41 532	280,54
T Cas		0 20 31	+55 30,9	7,0—12,6	M6e—M8e	41 921	444,78
R And		0 21 23	+38 18,0	5,8—14,9	S3,5—M7e	41 890	409,16
S Cet		0 21 31	—09 36,3	7,6—14,7	M3e—M6,5e:	42 313	320,36
RV Cas		0 49 53	+47 08,6	7,6—16,1	M6e—M7e	41 980	331,62
R Psc		1 28 04	+02 37,4	7,1—14,8	M3e—M6e	39 731	344,04
R Ari		2 13 16	+24 49,5	7,4—13,7	M3e—M6e	42 080	186,78
W And		2 14 23	+44 04,5	6,7—14,6	M4e—M10	41 936	396,17
o Cet		2 16 49	—03 12,2	2,0—10,1	gM5e—gM9e	41 830	331,86 [2])
R Cet		2 23 28	—00 24,2	7,2—14	M4e—M6e	41 614	166,27
U Cet		2 31 20	—13 22,1	6,8—13,4	M2e—M5e	38 144	234,67
R Tri		2 34 00	+34 02,8	5,4—12,6	M3e—M8,5e	42 014	266,48
U Ari		3 08 16	+14 36,8	7,2—15,2	M4e—M9,5e	41 728	371,27
T Cam		4 35 14	+66 02,9	7,3—14,4	S4,7e—S5,8e	41 613	373,78
X Cam		4 39 13	+75 00,6	7,4—14,2	M0—M6,5e	42 092	143,55 [3])
R Lep		4 57 20	—14 52,8	5,5—10,5	N6e	37 800	432,47 [4])
R Aur		5 13 15	+53 31,9	6,7—13,7	gM6,5e—M9e	41 738	457,64 [3])
S Ori		5 26 32	—04 43,9	7,5—13,5	M6,5e—M8e	38 062	419,2 [3])
U Aur		5 38 53	+32 01,1	7,5—15,5	M6,5e—M9e	42 350	408,73
U Ori		5 52 51	+20 10,1	4,8—12,6	M6e—M9,5e	42 280	372,40 [5])
V Mon		6 20 12	—02 10,2	6,0—13,7	M5e—M8e	40 231	333,80

Название	Карта	Координаты		Звездная величина m_v	Спектр Sp	Эпоха J.D. 24 +	Период *P*
		α_{1950}	δ_{1950}				
X Gem		$6^h43^m55^s$	+30°19′,9	$7^m,5-13^m,6$	M5e—M6e	40 604	$263^d,72$
R Lyn		6 57 11	+55 24,1	7,2—>14,5	S5,5e—S6,8e	42 135	378,66
R Gem	K71	7 04 21	+22 47,0	6,0—14,0	S2,9e—S8,9e	40 725	369,81
V CMi		7 04 15	+08 57,4	7,4—14,9	M6e—M10	41 616	365,88
R CMi		7 05 58	+10 06,3	7,4—11,6	Sep	41 323	337,78
S CMi		7 30 00	+08 25,6	7,0—13,2	M6e—M8e	42 160	332,56 5)
R Cnc		8 13 48	+11 52,9	6,2—11,8	M6e—M9e	41 695	361,43 5)
V Cnc		8 18 52	+17 26,7	7,5—13,9	S0e—S7,9e	41 850	272,13 6)
S Hya		8 50 58	+03 15,5	7,4—13,3	M6e—M9e	41 683	256,45
T Hya		8 53 14	−08 57,0	6,7—13,2	M3e—M9;e	41 990	289,21 7)
R LMi		9 42 35	+34 44,6	6,3—13,2	M6,5e—M9e	42 462	371,93
R Leo		9 44 52	+11 39,7	4,4—11,3	M6,0e—M9e	41 688	312,43 5)
R UMa		10 41 08	+69 02,3	6,7—13,4	M3e—M9e	42 587	301,68
R Com		12 01 42	+19 03,7	7,3—14,6	M5e—M7ep	42 050	362,75
R Crv		12 17 02	−18 58,7	6,7—14,4	M4,5e—M9e	42 145	317,02
SS Vir		12 22 40	+01 02,8	6,0—9,6	Ne (C5,3e)	40 653	354,66
T UMa		12 34 07	+59 45,8	6,6—13,4	M4e—M7e	42 024	256,54
R Vir		12 35 57	+07 15,8	6,0—12,1	M3,5e—M8,5e	42 512	145,64 7)
S UMa		12 41 46	+61 22,0	7,0—12,4	S5,9e	42 170	226,02 5)
U Vir		12 48 33	+05 49,5	7,5—13,5	M2e—M8e	42 472	206,80
S Vir		13 30 24	−06 56,4	6,3—13,2	M6e—M9,5e	42 414	377,43 7)
R CVn		13 46 49	+39 47,4	7,0—12,9	gM5,5e—M9e	41 941	328,25 5)
U UMi		14 16 14	+67 01,5	7,4—12,7	M6e—M8e	42 113	326,51 7)
RS Vir		14 24 46	+04 54,1	7,0—14,4	M6e—M7e	42 565	352,80
R Boo		14 34 59	+26 57,1	6,2—13,0	M3e—M8e	42 074	223,46
Y Lib		15 09 03	−05 49,4	7,6—14,7	M5e	40 703	275,05
S Ser		15 19 19	+14 29,6	7,0—14,1	M5e—M6e	42 100 ±	368,59
S CrB		15 19 21	+31 32,8	5,8—14,0	M6e—M8e	42 071	360,22
RU Lib		15 30 28	−15 09,5	7,2—14,2	M5e—M6e	41 840	316,56
V CrB		15 47 44	+39 43,3	6,9—12,6	N2 (C6,2e)	41 650	358,01
R Ser		15 48 23	+15 17,1	5,16—14,4	M5e—M9e	42 315	356,41
RU Her		16 08 09	+25 12,0	6,8—14,3	M6e—M9e	41 058	485,49 8)

U Her		16 23 35	+19 00,3	6,5—13,4	M6,5e—M9,5e	42 540	406,05
V Oph		16 23 57	—12 18,9	7,3—11,6	N3e	38 538	297,99
R Dra	K70	16 32 31	+66 51,5	6,7—13,0	M5e—M9e	42 059	245,47
W Her		16 33 26	+37 26,8	7,6—14,4	M3e—M5e	42 580	280,37
S Her		16 49 38	+15 01,5	6,4—13,8	M2e—M8,8e	41 987	307,44 [4])
SS Oph		16 55 15	—02 41,1	7,8—14,5	M5e	38 945	180,03
R Oph		17 04 53	—16 01,7	7,0—13,8	M4e—M6e	42 175	302,57
Z Oph		17 17 00	+01 33,9	7,6—14,0	K3ep—M7,5e	42 238	348,75 [3])
RS Her		17 19 37	+22 58,1	7,4—13,0	M4e—M8 : e	40 786	219,59
T Dra		17 55 38	+58 13,4	7,2—13,5	M5e—M9e	40 556	421,22 [9])
T Her		18 07 12	+31 00,7	6,8—13,9	M2e—M8e	42 330	165,01
RY Oph		18 14 07	+03 40,4	7,5—13,8	M3e—M6e	42 348	150,53
X Oph		18 35 57	+08 47,3	5,9—9,2	M5e—M8,5e	41 478	334,39 [10])
ST Sgr		18 58 40	—12 49,9	7,6—16,0	S4,3e—S9,5e	40 460	395,12
R Aql		19 03 57	+08 09,2	5,7—12,0	M5e—M9e	42 326	290,8 [11])
T Sgr		19 13 21	—17 03,6	7,6—12,9	S4,5e—S5,5e	42 125	392,35 [12])
R Sgr	K71	19 13 46	—19 23,8	6,7—12,8	M4e—M6e	42 298	268,81
R Cyg		19 35 29	+50 05,2	6,1—14,2	S3,9e—S6,8e	42 021	426,44
RT Cyg		19 42 12	+48 39,5	6,4—12,7	M2e—M8,2e	42 303	190,28
χ Cyg	K71	19 48 38	+32 47,2	3,3—14,2	S6,2—S10,4e	42 143	406,93
Z Cyg		20 00 02	+49 54,2	7,4—14,7	M5e—M6e	42 247	263,69
R Del		20 12 30	+08 56,2	7,6—13,8	M5e—M6e	42 355	284,88
CN Cyg		20 16 54	+59 38,2	7,3—14,0	M2e—M7e	41 972	198,48
U Cyg		20 18 03	+47 44,1	5,9—12,1	Npe	42 233	462,40 [3])
V Cyg		20 39 42	+47 57,8	7,7—13,9	Npe (C6—7,4e)	41 091	421,43 [2])
T Aqr		20 47 18	—05 20,0	7,2—14,2	M2e—M5e	41 936	201,69
R Vul		21 02 09	+23 37,4	7,0—14,3	M3e—M7e	42 166	136,36
T Cep	K69	21 08 53	+68 17,2	5,4—11,0	M5,5e—M8,8e	42 205	387,79 [3])
S Cep		21 35 52	+78 24,0	7,4—12,9	N8e	41 837	486,99
V Peg		21 58 32	+05 52,8	7,0—15,0	M3e—M6e	42 390	302,31
RZ Peg		22 03 40	+33 15,8	7,6—13,6	C9,1e	39 105	439,40
S Lac		22 26 49	+40 03,6	7,6—13,9	M5e—M8e	42 350	241,80
S Aqr		22 54 26	—20 36,6	7,6—15,0	M4e	38 103	278,75 [7])
R Peg		23 04 09	+10 16,4	6,9—13,8	M6e—M9e	40 945	378,02
V Cas		23 09 32	+59 25,7	7,1—13,3	M5e—M8e	42 064	228,64
R Aqr		23 41 14	—15 33,7	5,8—11,5	M5e—M8,5e	42 003	386,84 [13])
R Cas	K70	23 55 52	+51 06,6	4,7—13,5	M6e—M10e	42 300	430,49
W Cet		23 59 34	—14 57,2	7,1—14,8	S6,3e—S9,2e	38 226	351,33

Таблица 30в

Некоторые цефеиды

до $9^m,0$ в максимуме и с $\delta > -20°$ (звездные величины *B*, *V* или фотографические)

Звезда и тип	Карта	Координаты α_{1950}	δ_{1950}	Звездная величина	Спектр Sp	Эпоха J. D. 24 +	Период *P*
TU Cas CW	K70	$0^h23^m37^s$	+51°00′,2	$7^m,39—8^m,92$ *B*	F3—F5 II	37 490,391	2^d,139330 [1])
SU Cas Cδ	K69	2 47 29	+68 40,9	5,78—6,16 *V*	F5—F7 I	38 000,598	1,949319
RX Cam Cδ		4 00 49	+58 31,4	7,30—8,07 *V*	F6 Ib—G1	35 384,590	7,911977
SZ Tau Cδ	K69	4 34 20	+18 26,6	6,37—6,71 *V*	F5—F9,5 Ib	34 628,57	3,14873 [2])
AW Per Cδ		4 44 25	+36 38,1	7,04—7,85 *V*	F6—G0	37 040,488	6,46342 [3])
RX Aur Cδ		4 57 55	+39 53,3	7,34—8,03 *V*	F6—G2	39 075,63	11,623515 [4])
ST Tau CW		5 42 14	+13 33,4	7,79—8,56 *V*	F5—G5	36 916,891	4,034269 [2])
SV Mon Cδ		6 18 45	+06 29,7	7,61—8,88 *V*	F6—G4	36 437,070	15,2321
RS Ori Cδ		6 19 22	+14 42,2	8,03—8,83 *V*	F5 Ib—G5 Ib	35 912,305	7,56681
T Mon Cδ	K70	6 22 31	+07 06,9	5,59—6,60 *V*	F7 Iab—K1 Iab	36 137,090	27,0205 [5])
RT Aur Cδ	K69	6 25 21	+30 31,6	5,02—5,82 *V*	F4 Ib—G1 Ib	39 919,135	3,72794 [4])
W Gem Cδ	K70	6 32 06	+15 22,3	6,54—7,36 *V*	F5—G1	37 136,473	7,91413 [2])
RY CMa Cδ		7 14 17	−11 23,8	7,71—8,45 *V*	F6—G0 Ib	36 416,937	4,67825
Y Oph Cep	K71	17 49 58	−06 08,0	5,92—6,38 *V*	F8 Ib—G3 Ib	39 853,30	17,12413 [6])
WZ Sgr Cδ		18 14 03	−19 05,7	7,45—8,53 *V*	F8—K1	35 506,629	21,849708
Y Sgr Cδ	K71	18 18 26	−18 53,1	5,40—6,10 *V*	F6—G0	36 230,180	5,77335
U Sgr Cδ	K71	18 28 57	−19 09,7	6,34—7,08 *V*	F5 Ib—G1,5 Ib	38 084,230	6,744925 [4,7])

Звезда и тип	Карта	Координаты		Звездная величина	Спектр Sp	Эпоха J. D. 24 +	Период *P*
		α_{1950}	δ_{1950}				
SS Sct Cδ		$18^h41^m01^s$	—07 46,9	7^m,97—8^m,43 *V*	F6—G0	35 315,625	3^d,671253
YZ Sgr Cδ	K71	18 46 35	—16 46,8	7,02—7,76 *V*	F6—G2	35 514,301	9,55345
FF Aql Cδ	K71	18 56 01	+17 17,6	5,20—5,55 *V*	F5 Ia—F8 Ia	36 072,687	4,470956 [8])
SZ Aql Cδ		19 02 07	+01 13,8	7,93—9,26 *V*	F7—K1	35 528,937	17,137939 [2])
V 496 Aql Cδ		19 05 39	—07 30,9	7,59—7,98 *V*	G5	36 017,062	6,80703
TT Aql Cδ	K71	19 05 41	+01 13,1	6,50—7,68 *p*	F5—G5	35 517,141	13,7546 [2])
FM Aql Cδ		19 06 54	+10 28,2	7,92—8,64 *V*	F5—F9 Ia	35 151,723	6,11423
FN Aql Cδ		19 10 18	+03 28,4	8,08—8,74 *V*	F8—G2	35 562,727	9,48224 [2])
U Aql Cδ	K73	19 26 40	—07 08,9	6,08—6,86 *V*	F7 I-II—G1	36 074,406	7,02393 [2])
U Vul Cδ		19 34 26	+20 13,2	6,78—7,51 *V*	F8 Iab—G2	36 410,81	7,990676
SU Cyg Cδ	K71	19 42 48	+29 08,6	6,45—7,18 *V*	A2e + K0	36 237,609	3,845507 [9])
SV Vul Cδ	K71	19 49 28	+27 19,9	6,73—7,76 *V*	F7—K0 Iab	38 268,9	45,035 [2])
η Aql Cδ	K73	19 49 56	+00 52,5	3,50—4,30 *V*	F6 Ib—G4 Ib	36 084,656	7,176641 [2])
S Sge Cδ	K71	19 53 45	+16 30,1	5,28—6,04 *V*	F6 Ib—G5 Ib	36 082,168	8,382173 [2])
X Cyg Cδ	K71	20 41 27	+35 24,4	5,87—6,86 *V*	F7 Ib—G8 Ib	35 915,918	16,3866 [2])
TX Del CW		20 47 42	+03 27,9	8,85—9,50 *V*	G0—G5	39 431,902	6,1629 [2])
T Vul Cδ	K71	20 49 20	+28 03,7	5,44—6,06 *V*	F5 Ib—G0 Ib	35 934,758	4,435572
Y Lac Cδ		22 07 08	+50 48,8	8,80—9,45 *V*	F5—G0	35 347,676	4,323788
δ Cep Cδ	K73	22 27 18	+58 09,5	3,48—4,34 *V*	F5 Ib—G1 Ib	36 075,445	5,366341 [2])
Z Lac Cδ		22 38 53	+56 34,1	7,94—8,85 *V*	F6 Ib—G6 Ib	35 152,859	10,88583 [4])

Таблица 30г

Звезды типа RR Лиры (RR)

с $\delta > -20°$ ярче $9^m,5$ в максимуме

Звезда и тип	Карта	Координаты		Звездная величина	Спектр Sp	Эпоха J. D. 24+	Период P
		α_{1950}	δ_{1950}				
RR Cet ab	C IV	$1^h29^m34^s$	+01°05′,2	$9^m,10-10^m,10$ V	A7—F5	33 181,404	$0^d,55302814$ [1])
XZ Cet		1 57 52	−16 35,4	8,5—9,2 p	A		0,451 [2])
X Ari ab	C IV	3 05 48	+10 15,5	8,97—9,91 V	A8—F4	39 059,056	0,651152 [3])
RX Eri ab		4 47 29	−15 49,6	9,22—10,10 V	A7—F6	21 692,479	0,58724622
AD CMi s		7 50 11	+01 43,7	9,08—9,38 V	F0 III—F3 III	36 601,8228	0,122974
SZ Lyn s		8 06 06	+44 37,2	9,08—9,64 V	A8	38 124,3977	0,12053481 [4])
TU UMa ab	C IV	11 27 10	+30 20,7	9,28—10,24 V	A8—F8	41 805,369	0,557653 [1])
SU Dra ab		11 35 07	+67 36,5	9,25—10,24 V	F0—F7	20 688,309	0,66041888
RR Lyr ab	C IV	19 23 52	+42 41,2	7,06—8,12 V	A8—F7	38 215,377	0,566830 [5])
XZ Cyg ab	C IV	19 31 27	+56 16,8	9,00—10,16 V	A6—F6	41 453,3856	0,4664731 [1,6])
DH Peg c		22 12 55	+06 34,2	9,27—9,78 V	A1—A7	41 228,558	0,255498 [1])
RZ Cep c		22 37 28	+64 35,7	9,11—9,75 V	A0—A9	41 475,373	0,308686 [1])

Таблица 30д

Некоторые звезды типа U Близнецов

Название	Карта	Координаты α_{1950}	Координаты δ_{1950}	Звездные величины	Спектр	Средний цикл
SS Aur	C IV	$6^h09^m35^s$	$+47°45',7$	$10^m,5-15^m,0$ *v*	Pec	$55^d,8$ [1])
U Gem	C IV	7 52 08	+22 08,1	8,2—14,9 *v*	sdBe + dK	(103,0) [2])
SW UMa	C IV	8 32 59	+53 39,1	10,8—16 *p*	Pec	(459)
BZ UMa		8 49 54	+58 00	10,5—16 *p*		(110)
SS Cyg	C IV	21 40 45	+43 21,4	8,2—12,4 *v*	A1—dGep	(50,1) [3])
RU Peg	C IV	22 11 26	+12 20,2	9,0—13,1 *v*	sdBe+G8n IV	67,8

Таблица 30е

Некоторые вспыхивающие звезды

ярче $11^m,0$ в максимуме

Название	Карта	Координаты α_{1950}	Координаты δ_{1950}	Звездные величины	Спектр
UV Cet	C IV	$1^h36^m26^s$	$-18°12',7$	$7^m-12^m,95$ *V*	dM5,5e [1])
V 371 Ori	C IV	5 31 10	+01 54,8	11,0—13,01 *B*	dM3e [2])
AD Leo	C IV	10 16 55	+20 07,3	9,41—10,94 *B*	M4,5 Ve
DT Vir		12 58 23	+12 37,7	10,34—14,32 *B*	dM2e
AE Aqr	C IV	20 37 34	−01 03,0	10,4—12,0 *B*	K5e IV—V + B [3])
DO Cep	C IV	22 26 13	+57 26,8	10,3—11,4 *v*	dM4,5e [4])
EV Lac	C IV	22 44 40	+44 04,6	8,28—11,83 *B*	dM4,5e
EQ Peg	C IV	23 29 15	+19 39	9,8—10,5 *V*	dM4e + dM5,5e [5])

Таблица 30ж

Некоторые звезды типа RV Тельца

ярче $9^m,8$ в максимуме и с $\delta > -20°$

Название	Координаты α_{1950}	Координаты δ_{1950}	Звездные величины	Спектр	Эпоха J. D. 24+	Период
SS Gem	$6^h05^m34^s$	$+22°37',6$	$9^m,3-10^m,7$ *p*	F8—G5 Ib	34 365	$89^d,31$ [1])
U Mon	7 28 24	−09 40,2	6,1—8,1 *p*	F8e I—K0p I	37 395	92,26 [2])
AC Her	18 28 09	+21 49,9	7,43—9,74 *p*	F2pe I—K4e	35 052	75,4619 [3])
R Sct	18 44 49	−05 45,6	4,45—8,20 *V*	G0e Ia—K0p Ib	32 078,3	140,05 [4])
R Sge	20 11 47	+16 34,4	9,46—11,46 *B*	G0 Ib—G8 Ib	23 627,0	70,594 [5])
V Vul	20 34 25	+26 25,8	8,06—9,35 *V*	G4e—K3	14 871,1	75,72

Таблица 30з

Некоторые полуправильные переменные звезды
ярче $8^m,0$ и с $\delta > -20°$

Название звезды	Координаты		Звездные величины	Спектр	Эпоха J. D. 24 +	Цикл
	α_{1950}	δ_{1950}				
TV Psc	$0^h25^m26^s$	−17°37′,0	$4^m,65$—$5^m,42$ V	M3 III	—	49^d и 70—85^d [1])
V 393 Cas	1 58 28	+71 03,5	8,0—9,1 *p*	M0	—	—
T Ari	2 45 32	+17 18,1	7,5—11,3 *v*	M6e-M8	39 135	322,9 [2])
Z Eri	2 45 32	−12 40,1	7,0—8,6 *p*	M4 III	—	80 [3])
RR Eri	2 49 47	−08 28,3	7,4—8,6 *p*	M5 III	—	97
ρ Per	3 01 57	+38 38,9	3,30—4,0 *V*	M4 IIb—IIIa	—	50± [4])
SS Cep	3 41 33	+80 10,1	8,0—9,1 *p*	M5 III	—	90 [5])
CK Ori	5 27 41	+04 10,0	5,9—7,1 *v*	K2 IIIe v	—	120:
CE Tau	5 29 17	+18 33,5	6,1—6,5 *p*	M2 Iab—Ib	—	165
α Ori	5 52 28	+07 23,9	0,40—1,3 *V*	M2e Iab	—	2335 [6])
CO Aur	5 57 08	+35 18,6	7,46—8,08 *V*	F5 Ib	—	~10 [7])
η Gem	6 11 52	+22 31,4	3,27—3,9 *v*	M3 III	37 725	232,9 [8])
IS Gem	6 46 26	+32 40,0	6,6—7,3 *p*	gK3	—	47±
X Mon	6 54 48	−08 59,8	6,9—10,0 *v*	gM3e—M6ep	41 370	155,70
VZ Cam	7 20 41	+82 30,8	6,40—6,70 *p*	M4 IIIa	—	23,7
AK Hya	8 37 36	−17 07,4	6,33—6,91 *V*	M4 III	—	112:
RS Cnc	9 07 38	+31 10,1	6,2—7,2 *p*	M6e Ib—II	—	120
U Hya	10 35 05	−13 07,4	7,0—9,2 *p*	N2	—	450±

Название звезды	Координаты		Звездные величины	Спектр	Эпоха J. D. 24 +	Цикл
	α_{1950}	δ_{1950}				
Z UMa	$11^h53^m54^s$	+58°09′,0	$7^m,9$—$10^m,8$ *p*	M5e III	39 368	196 [9]
FS Com	13 03 57	+22 53,0	5,5—6,1 *v*	M5 III	—	58:
V CVn	13 17 17	+45 47,4	6,74—8,8 V	M4e—M6e IIIa:	40 648	191,93 [10]
V Boo	14 27 44	+39 05,0	7,0—12,0 *v*	M6e	41 944	258,03 [10]
X Her	16 01 10	+47 22,6	7,5—8,6 *p*	M6e	—	95,0 [11]
g Her	16 27 00	+41 59,5	5,7—7,2 *p*	M6 III	—	70± [12]
TX Dra	16 34 17	+60 34,2	7,9—10,2 *p*	M4e—M5	—	78 [13]
α Her	17 12 22	+14 26,8	3,0—4,0 *v*	M5 II—Ib	—	— [14]
R Lyr	18 53 49	+43 52,7	3,88—5,0 *V*	M5 III	35 920	46,0
CH Cyg	19 23 14	+50 08,5	6,4—8,7 *V*	M7 IIIab + B	—	97 [15]
UX Dra	19 23 22	+76 27,7	5,94—7,1 *V*	C7,3	—	168
AE Cyg	19 28 43	+46 02,5	7,4—9,4 *p*	M5e	—	94,1
V 450 Aql	19 31 18	+05 21,4	6,30—6,65 *V*	M5—M5,5 III	—	4±
RS Cyg	20 11 35	+38 34,6	6,5—9,3 *v*	NOpe (C8,2e)	38 300	417,39 [16]
EU Del	20 35 38	+18 05,6	5,84—6,9 *v*	M6 III	35 794	59,5 [10]
V 1070 Cyg	21 20 52	+40 43,1	6,7—7,7 *v*	M7 III	—	
W Cyg	21 34 08	+45 09,0	6,8—8,9 *p*	gM4e—M6	38 659,73	126,26
V 1339 Cyg	21 40 14	+45 32,2	5,9—7,1 *v*	M3	—	35:
μ Cep	21 41 59	+58 33,0	3,6—5,1 *v*	M2e Ia	—	[17]
TW Peg	22 01 43	+28 06,3	7,0—9,2 *v*	M6—M7	30 370	956,4 [18]

Таблица 30и

Некоторые неправильные переменные звезды

ярче $8^m,0$ в максимуме блеска и с $\delta > -20°$

Название звезды	Координаты		Звездные величины	Спектр
	α_{1950}	δ_{1950}		
KK Per	$2^h06^m48^s$	+56°19′,4	$6^m,6-7^m,78$ *V*	M1,0—M3,5 Iab—Ib
BU Tau	3 46 12	+23 59,1	4,77—5,50 *V*	B8 IV, Ve [1])
X Per	3 52 15	+30 54,0	6,07—7,0 *V*	O9,5 pev (III—V) [2])
RX Lep	5 09 03	−11 54,6	5,0—7,0 *v*	gM6
AE Aur	5 13 00	+34 15,4	5,4—6,1 *v*	O9,5 V
NU Ori	5 33 04	−05 17,9	6,83—6,93 *V*	B1 V
V 359 Ori	5 33 05	−04 52,2	7,25—7,36 *V*	B3 Vp
BU Gem	6 09 17	+22 55,3	5,74—7,5 *V*	M1 Ia [3])
ψ^1 Aur	6 21 03	+49 18,9	6,6—7,2 *p*	K5—M0 Iab—Ib
BN Gem	7 34 14	+17 01,0	6,0—6,6 *p*	O8 V:pe
VY UMa	10 41 37	+67 40,4	5,9—6,5 *v*	$C6_3$
TU CVn	12 52 39	+47 28,0	7,2—7,7 *p*	M6 IIab—III
R CrB	15 46 31	+28 18,5	5,8—14,8 *v*	cFpep
AT Dra	16 16 25	+59 52,6	6,8—7,5 *p*	M5
OP Her	17 55 22	+45 21,3	7,7—8,3 *p*	M5 II—III
XY Lyr	18 36 27	+39 37,4	7,3—7,8 *p*	M4—5II
V 1942 Sgr	19 16 18	−16 00,0	6,74—7,1: *V*	C6,4
T Cyg	20 45 11	+34 11,4	5,0—5,5 *v*	K3 III [4])
V 460 Cyg	21 39 54	+35 16,8	5,6—7,0 *v*	N1 (C6,3)
TX Psc	23 43 50	+03 12,6	6,9—7,7 *p*	N0 (C6,2) [5])
ρ Cas	23 51 52	+57 13,3	4,1—6,2 *v*	F8p—K5p [6])

Примечания к таблицам 30а—и.

а. Затменные переменные звезды.

1. *P* меняется. 2. ADS 830 A (комп. B = $11^m,2$, 12″; комп. C = $12^m,2$, 21″); *P* постепенно увелич. и показ. непр., скачкообр. изменения; комп. A окружен газовым диском. 3. *P* м. б. вдвое больше. 4. Виз.-дв. (сп. $13^m,3$, 6″,7). Период меняется. 5. Алголь — тройная система, комп. C обращ. с $P = 1,862$ года, вызывая вращение линии апсид Алголя с $P = 32^a$. Набл. избыток ИК излучения и переменное радиоизлучение. 6. Возможны физ. измен. блеска одного из комп. 7. Сп. = $12^m,5$, 1″. *P* меняется. 8. *P* м. б. меняется. 9. Физ. флюктуации с ампл. до $0^m,24$; циклич. измен. блеска и V_r со средним циклом $\sim 110^d$. 10. Сп. = $8^m,5$, 0″,5. 11. Член D Трапеции Ori. 12. В минимуме кривая асимметр., *P* меняется. 13. Флюкт. блеска, так как комп. A6 — физ. пер.; *P* меняется. 14. *P* и форма кривой блеска меняются; цикл изменения формы кривой блеска $10^a,2$. 15. Виз. сп. = $9^m,5$, 3″,6; *P* меняется. 16. Виз. сп. = $9^m,7$ *p*, 8″,1. 17. *P* меняется, м. б. с циклом 31^a. 18. Возможна физ. перем. одного или обоих комп. 19. Общая протяженная оболочка. Система быстро эволюционирует — *P* растет. Физ. колеб. блеска с ампл. до $0^m,7$. 20. *P* меняется; $+0,38366 \cdot 10^{-6} \cdot E^2$; набл. небольш. колеб. *P* и измен. формы кривой блеска. 21. Набл. вращ. линии апсид. 22. $Min_{II} - Min_I = 3^d,919$. 23. *P* меняется неправ.; измен. формы кривой блеска. 24. Период вращ. линии апсид $\sim 350^a$, $e = 0,302$. 25. Вращ. линии апсид с периодом $37^a,8$. Третий член системы — более низкой температуры и светимости в *V* (0,177 общей светимости системы). 26. Физ. пер. компонентов. 27. На медл. колеб. с $P = 13^a,7$ и ампл. $0^m,15$ наклад. изм. блеска с $P = 349^d$ и ср. ампл. $0^m,3$. 28. *P* меняется. Комп. sgG5 — физ. пер. с ампл. $0^m,24$. Перем. радиоизлучение на частотах 2695 и 8085 МГц. 29. Измен. *P*, возм движ. линии апсид.

б. Звезды типа o Cet.

1. Велич. в макс. меняется с периодами 930^d и 5400^d:. 2. Комп. A двойной (ADS 1778). Комп. B = VZ Cet, расст. 0",6 (в 1968 г.). 3. P меняется. 4. Величина в макс. меняется от $5^m,5$ до $6^m,5$ с возм. $P > 40^a$. 5. В 0',7 от затм. UW Ori ($11^m,1-11^m,6$). 6. Сп. (10"), вероятно, оптический. 7. Период м. б. меняется. 8. Вероятно, есть сп., так как в мин. — комбин. спектр. 9. ADS 10 937A, сп. B = UY Dra явл. опт. 10. Физ. дв. ADS 11 524; сп. $8^m,6$, K1 III. 11. P меняется скачками. Радиоэмиссия в H_2O и OH. 12. Сп. F3 IV, ≤0",8. 13. Много особенностей в спектре. Перем. радиоэмиссия на волне 10,5 Ггц.

в. Цефеиды.

1. P и форма кривой блеска меняются с $P = 5^d,23026$. М. б. сущ. голубой сп. 2. P меняется. 3. Сп.-дв.; комп. B6 V слабее цефеиды на $2^m,8$ (виз.). Возм. P обращ. ≥1200^d. 4. P, по-видимому, меняется. 5. P меняется скачкообразно. 6. Кривая не типична. Около JD 2 432 660 P изм. скачком; до этого был $17^d,11984$. М. б., сп.-двойная. 7. Возможно, сп.-двойная. 8. Сп.-дв. с $P = 1435^d,0$. 9. За последние 170 лет P менялся дважды.

г. Звезды типа RR Lyr.

1. P меняется. 2. Возможен еще $P = 0^d,823$. 3. До JD 2 439 000 P был $0^d,651139$. 4. P и форма кривой меняются с периодом 1129^d. 5. Сильно выраженный эффект Блажко; P и форма кривой меняются с периодом $40^d,812289$. 6. Сильно выражен эффект Блажко.

д. Звезды типа U Gem.

1. Сп.-дв. с $P = 0^d,1805939$. 2. Тесн. дв. и затм. дв. с $P \sim 0^d,176906$. Период наступления затмений меняется. 3. Сп.-дв. с $P = 0^d,2762$, который меняется.

е. Вспыхивающие звезды.

1. Сп. комп. виз.-дв. системы ($\Delta m = 0^m,5$, $\rho = 1'',5$). 2. Во время вспышек спектр Be—Ae. 3. Сп.-дв. с $P = 0^d\ 701024$, колеб. блеска быстрые и неправильные. 4. ADS 15 972 B. 5. Компоненты виз.-дв. с большим μ, $\rho = 3'',6$, орб. период 178^a. Оба — типа UV Cet; yEQa (сев.-зап., более ярк. комп.) зарегистрирована вспышка на 2^m в U, у EQb $1^m,1$ в системе B. Много вспышек суммарного блеска.

ж. Звезды типа RV Tau.

1. $\mathrm{Min_{II}}\ 10^m,0$, кривая блеска переменна. 2. Ср. величина меняется с $P = 2320^d$. 3. Величина в макс. меняется с ампл. $1^m,6$; гл. и втор. минимумы меняются местами в среднем каждые 50 P. 4. Период меняется. Много неправильностей в поведении спектра. Период изменения V_r не совпадает с фотометрическим. 5. Ср. величина меняется с периодом 1112^d.

з. Полуправильные переменные звезды.

1. Указанные циклы сменяют друг друга. 2. P и амплитуда меняются. 3. Существует еще цикл в 746^d. 4. Возможны колеб. с $P = 1100^d$. 5. Ср. блеск изм. с циклами от неск. сотен до тысячи дней. 6. Наклад. колеб. $200-400^d$. 7. Возможен цикл в $35-40^d$. 8. ADS 4841 A = сп. и затм. дв. В табл. дана эпоха мин.; V_r изм. с $P = 2984^d$. 9. Кривая напоминает RV Tau, минимумы меняются местами. 10. Ампл. колеб. блеска сильно меняется. 11. Ср. блеск меняется с $P = 746^d$. 12. М. б. ср. блеск изм. с $P \sim 900^d$. 13. Ср. блеск изм. с $P = 654^d$. 14. ADS 10 418 A, сп. = $5^m,4$, G0 II—III, $\rho = 4'',7$; на медл. колеб. блеска с $P \sim 6^a$ и ампл. $0^m,5$ наклад. колеб. $50-130^d$ с ампл. $0^m,3-1^m,0$; систему окружает газовая оболочка, расшир. со скор. 10 км/с. 15. Ср. блеск измен. с $P \sim 4700^d$. Иногда небольш. вспышки и ослабления и быстрые флюктуации. А м. б. это затм. с $P = 4^a,85$? 16. Дана эпоха мин. Форма кривой блеска сильно меняется, иногда набл. двойные макс., с мин. на фазе $0^P\ 5$. 17. Неск. наклад. периодов. 18. На колеб. с $P = 956^d$ наклад. небольш. колеб. с $P = 90^d$. Одна из ярчайших звезд в диапаз. 20 мкм ($-3^m,3$l).

и. Неправильные переменные звезды.

1. Плейона, в скопл. Плеяды. М. б. сп.-дв. с очень большим P. 2. ADS 2859 A. Вероятно, рентг. источник 2UO 352 + 30. Возможна периодичность V_r с $P = 580^d,7$. ИК избыток. Пульсации в области 2,5—7,5 кэВ с $P = 13,924 \pm 0,007$ минут. Спутник имеет массу, вероятно, $\sim 20\mathfrak{M}_\odot$. 3. М. б. затм. с $P \sim 32^a$. 4. Кратная система; физ. комп. = 10^m, 10", опт. комп. = 12^m, 14". 5. Угловой диаметр $0'',009 \pm 0'',002$. 6. М. б. это затм. с большим P или перем. типа R CrB.

Таблица 31

Яркие галактические рассеянные скопления севернее $\delta = -45°$

(в скобках неуверенные данные)

NGC	M	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	D	m_{ph}, инт	Расстояние, кпс	D, пс	m_{ph}, ярк. зв.	N	Спектр ярк. зв.
457	—	Cas	$1^h15^m,9$	+58°01′	14′	$7^m,5$	2,90	12	$10^m,2$	100	B2
581	103	Cas	1 29,9	+60 27	6	7,0	2,50	4	10,0	60	B3
869	—	h Per	2 15,5	+56 55	36	4,3	2,30	24	9,3	350	B1
884	—	χ Per	2 18,9	+56 53	36	4,3	2,60	25	9,3	300	B2
1039	34	Per	2 38,8	+42 34	42	5,7	0,45	6	8,7	80	B8
Плеяды	45	Tau	3 43,9	+23 58	180	1,4	0,12	6	3,6	130	B5
Гиады	—	Tau	4 16,7	+15 31	1200	0,8	0,04	14	4,4	100	A2 + G
1912	38	Aur	5 25,3	+35 48	26	7,0	1,30	10	10,3	150	B5 + G
1960	36	Aur	5 32,0	+34 07	19	6,3	1,30	7	8,9	60	B3
2099	37	Aur	5 49,0	+32 33	34	6,2	1,40	14	11	270	B9 + G
2168	35	Gem	6 05,7	+24 20	40	5,3	0,85	10	9,0	120	B4
2287	41	CMa	6 44,9	−20 42	50	5,0	0,65	9	7,8	90	A0 + G
2281	—	Aur	6 45,8	+41 07	17	6,7	1,48	(7)	(10,3)	30	—
2447	93	Pup	7 42,4	−23 45	25	6,0	1,10	8	9,5	80	B9 + G
2632 *)	44	Cnc	8 37,5	+19 52	420	3,9	0,16	20	6,6	320	B9 + G
2682	67	Cnc	8 48,3	+12 00	18	4,0	0,80	4	11,6	100	B9 + G
6231	—	Sco	16 50,7	−41 43	22	(6)	1,70	11	6,7	120	Oa
6242	—	Sco	16 52,2	−39 25	10	(7)	(0,60)	2	(8,0)	44	—
6405	6	Sco	17 36,8	−32 11	55	4,6	0,50	8	4,1	80	B5
6416	—	Sco	17 41,0	−32 20	20	(7)	(0,60)	4	(8,0)	35	—
6475	7	Sco	17 50,7	−34 48	70	3,2	0,25	5	6,2	80	B5
6494	23	Sgr	17 54,0	−19 01	35	6,0	0,65	7	9,4	120	B9 + G
6520	—	Sgr	18 00,3	−27 54	5	7,5	(0,7)	(1)	(8,5)	25	—
6531	21	Sgr	18 01,8	−22 30	12	6,5	1,30	4	8,2	50	B0
6603	24	Sgr	18 15,5	−18 27	4	(11)	(5,0)	(5,8)	(12,0)	50	—
6611	16	Sgr	18 16,0	−13 48	25	6,4	(1,7)	(20)	(10,3)	55	—
6645	—	Sct	18 29,8	−16 56	10	8,5	(2,5)	(6,6)	(11,0)	75	—
6705	11	Sct	18 48,4	−06 20	12	6,3	1,70	6	11,3	200	B8 + G
6939	—	Cep	20 30,4	+60 28	10	10,0	1,30	4	13,2	100	B8 + G
7092	39	Cyg	21 30,4	+48 13	30	5,2	0,26	(2)	(6,2)	25	B9
7654	52	Cas	23 22,0	+61 20	18	7,7	1,00	5	11,3	120	B7

*) Ясли (Praesepe).

NGC — номер по каталогу Дрейера; M — по каталогу Мессье, D — угловой диаметр, m_{ph}инт. — интегральный блеск скопления, D, пс — диаметр в парсеках, m_{ph}, ярк. зв. — средняя звездная величина пяти ярчайших звезд скопления, спектр ярк. зв. — спектр. классы самых ярких звезд.

Галактические шаровые скопления севернее $\delta = -45°$

NGC	M	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Диам. *) в ′	Интегр. m_V	Интегр. спектр	Расст., кпс	V_r **), км/с
1851	—	Col	$5^h12^m,4$	—40°05′	12′,5	$7^m,1$	F7	9,3	+310
5024	53	Com	13 10,5	+18 26	9	7,6	F4	16,4	—112
5272	3	CVn	13 39,9	+28 38	125	6,2	F5	8,8	—154
5904	5	Ser	15 16,0	+02 16	14	5,8	F6	6,7	+50
6093	—	Sco	16 14,1	—22 52	9	7,3	F6	9,7	+19
6121	4	Sco	16 20,6	—26 24	24	5,8	F8	2,0	+65
6205	13	Her	16 39,9	+36 33	16	5,7	F5	6,3	—240
6218	12	Oph	16 44,6	—01 52	14	6,7	F6	5,3	—16
6254	10	Oph	16 54,5	—04 02	14	6,5	F8	4,3	+70
6266	62	Oph	16 58,1	—30 03	15	6,6	F8	6,9	—77
6273	19	Oph	16 59,5	—26 11	12	6,7	F4	6,3	+144
6341	92	Her	17 15,6	+43 12	11	6,4	F2	7,4	—118
6541	—	CrA	18 04,4	—43 44	12	6,7	F5	5,8	—148
6626	28	Sgr	18 21,5	—24 54	13	6,9	F9	5,8	0
6656	22	Sgr	18 33,3	—23 58	24	5,0	F7	2,7	—144
6723	—	Sgr	18 56,2	—36 42	8	7,1	G2	8,0	—3
6809	55	Sgr	19 36,9	—31 03	12	6,2	F5	4,6	+169
7078	15	Peg	21 27,6	+11 57	12	6,3	F3	9,8	—109
7089	2	Aqr	21 30,9	—01 03	12	6,3	F4	11,2	—5
7099	30	Cap	21 37,5	—23 25	8	7,5	F3	7,4	—175

*) Исправлен за межзвездное поглощение.
**) С учетом движения Солнца к стандартному апексу.

Таблица 33а

Некоторые яркие галактические планетарные туманности севернее $\delta = -45°$

NGC или IC	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Тип *)	Диам.	m_{ph} инт. тум.	m_{ph} центр. звезды	Спектр тум.	Спектр центр. звезды	Расстояние, кпс	Примечания
40	Cas	$0^h10^m,2$	+72°15′	IIIb	1′×0′,6	$10^m,2$	$11^m,4$	Pf	Oa	1,0	
246	Cet	0 44,6	−12 09	IIIa	4,0×3,5	8,7	11,4		O7	0,5	
1535	Eri	4 12,1	−12 52	IV + VI	0,3	9,3	11,8	Pd	непр.	0,7	
2149	Aur	5 52,6	+46 07	IIIb + II	0,2	9,9	14,0		O7	0,9	
2392	Gem	7 26,2	+21 01	IIIb + IV	0,8×0,7	8,3	10,5		O8e	0,4	
2438	Pup	7 39,6	−14 36	IV	1,1	11,3	16,8	Pd		1,7	Близ сев. края расс. ск. NGC 2437
2440	Pup	7 39,9	−18 05	V	0,9×0,3	11,7	—	Pe		2,0	
3132	Ant	10 04,9	−40 11	IV	1,4×0,9	8,2	10,6	P		0,4	
3242	Hya	10 22,3	−18 23	IIIb + IV	0,7	9,0	11,4	Pe	непр.	0,6	
3587	UMa	11 12,0	+55 18	IIIa	3,4	12,0	14,3	P		2,3	M 97 «Сова» (Owl)
4361	Crv	12 21,9	−18 29	IIIa	1,3	10,8	12,8	Pf	непр.	1,3	
4406	Lup	14 19,3	−43 55	IIIb	1,7×0,6	10,6	—	Pb		1,2	
6210	Her	16 42,5	+23 53	II + VI	0,3×0,2	9,7	12,5	Pe	O6	0,8	
6543	Dra	17 58,8	+66 38	IIIa	0,4×0,3	8,8	11,1	Pd	O6	0,5	
6572	Oph	18 09,7	+06 50	IIa	0,3×0,2	9,6	12	Pd	O6	0,8	
6720	Lyr	18 51,7	+32 58	IV	1,4×1,0	9,3	14,7	Pb	непр.	0,7	M 57, «Кольцо» (Ring)
6818	Sgr	19 41,1	−14 17	IV	0,4×0,3	9,9	15,0	Pe		0,9	
6826	Cyg	19 43,4	+50 24	IIIa	0,4	8,8	10,8	Pd	O5	0,5	
6853	Vul	19 57,4	+22 35	IIIa	8×4	7,6	13,4	P	непр.	0,3	M 27 «Гантель» (Dumbbell)
7009	Aqr	21 01,4	−11 34	IV + IIIa	0,7×0,4	8,4	11,7	Pe	непр.	0,4	«Сатурн»
7293	Aqr	22 27,0	−21 06	IV	16×12	6,5	13,3	P		0,2	«Улитка» (Helix)
7635	Cas	23 18,5	+60 54	V	3×3	8,5	8,5		O7	0,5	
7662	And	23 23,5	+42 14	IV + IIIa	0,5×0,5	8,9	12,5	Pe	непр.	0,6	

*) Тип по классификации Б. А. Воронцова-Вельяминова: I — звездоподобная, IIa — овальная, равномерно яркая, но с уплотнением к центру; IIb — то же, но без уплотнения; IIIa — овальная, неравномерная яркость; IIIb — то же, — на краях ярче; IV — кольцеобразная; V — неправильная (переход к диффузным туманностям); VI — аномальная.

Некоторые яркие диффузные туманности севернее $\delta = -45°$

NGC или IC	Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Размеры	m_{vis} *)	Спектр *)	Расст., кпс	Примечание
I 59	γ Cas	$0^h53^m,7$	+60°48′	18′×12′	$2^m,2$	B0en	0,20	
1499	Per	4 00,1	+36 17	145×40	4,0	O7n	0,60	«Калифорния»
I 2118	Eri	5 04,5	—07 17	140×40	0,3	cB8ep	0,40	
1976	θ_1Ori	5 32,9	—05 25	66×60	5,4	O7—B8	0,30	Больш. тум. Ориона, М 42
1977	42 Ori	5 33,0	—04 54	42×26	4,6	B3	0,40	
—	ζ Ori	5 43,0	—02 00	330×40	1,9	B0ne	0,40	
2237—9	Mon	6 29,6	+04 40	64×61		O6	1,10	«Розетка»
2261	R Mon	6 36,4	+08 46	перем.	перем.	Bp	2,00	Тум. Хаббла
2264	S Mon	6 38,2	+09 57	60×30	4,7	O7n	1,00	«Conus»
I 2177	Mon	7 03,1	—10 29	85×25	7,1	B0p	0,56	
I 4606	α Sco	16 26,4	—20 20	85×80	1,2	cM1	0,11	(Antares)
6514	Sgr	17 58,9	—23 02	29×27	6,9	O7	0,67	«Трехдольная» (Trifid), M20
6523	Sgr	18 01,6	—24 20	60×35	6,8	O5e	0,77	(Lagoon), M 8
I 1287	Sct	18 27,6	—10 50	44×34	5,80	B3s	0,25	
I 1318	γ Cyg	20 14,7	+41 39	24×17	2,32	cF8p	0,17	
6960	52 Cyg	20 43,6	+30 32	70×6			0,40	(Cirrus)
I 5067—0	Cyg	20 46,9	+44 11	85×75	1,3	cA2e	0,28	«Пеликан»
6992—5	Cyg	20 54,3	+31 30	78×8			0,40	(Cirrus)
7000	α Cyg	20 57,0	+44 08	120×100	1,3	cA2e	0,28	«Америка»
—	Cep	21 10,7	+59 47	100×65	5,6	B0s	0,71	

*) Относится к звезде, освещающей туманность.

Таблица 34

Яркие галактики севернее $\delta = -45°$

Галактика		Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Тип	Спектр	Угловые размеры	Инт. $m_{фот}$	Расст. *), Мпс	Лучевая **) скорость V_r, в км/с
NGC	M									
55	—	Scl	$0^h12^m,5$	−39°30′	Sc	Em	30′×6′	$7^m,8$	2,3	190
205	—	And	0 37,6	+41 25	E6p	A8	26×16	8,9	0,7	−6
221	32	And	0 40,0	+40 36	E2	G3	12×8	9,1	0,7	17
224	31	And	0 40,0	+41 00	Sb	G5	200×90	4,3	0,7	−68
253	—	Scl	0 45,1	−25 34	Sc	Em	22×6	7,7	2,4	−70
300	—	Scl	0 52,6	−37 58	Sc	Em	23×17	8,8	2,1	95
598	33	Tri	1 31,1	+30 24	Sc	A7	83×53	6,2	0,7	−112
628	74	Psc	1 34,0	+15 22	Sc	F5	12×12	9,7	9,1	682
2403	—	Cam	7 32,0	+65 43	Sc	F2	18×12	9,5	3,2	190
3031	81	UMa	9 51,5	+69 18	Sb	G3	35×14	7,8	3,2	80
3034	82	UMa	9 51,9	+69 56	I0	A5	13×8	9,2	3,2	400
3115	—	Sex	10 02,8	−07 28	E7	G5	4×1	10,1	8,0	430
3351	95	Leo	10 41,3	+11 58	SBb	F5	3×3	10,5	8,5	643
3368	96	Leo	10 44,2	+12 05	Sa	C0	11×8	10,0	8,5	792
3623	65	Leo	11 16,3	+13 23	Sb	G0	8×2	9,8	8,5	640
3627	66	Leo	11 17,6	+13 17	Sb	G2	14×7	9,6	8,5	633
4254	99	Vir	12 16,3	+14 42	Sc	G2	4×4	10,2	13,8	2397
4258	106	CVn	12 16,5	+47 35	Sb	G0	24×6	8,9	10,0	480
4374	84	Vir	12 22,6	+13 10	S0	G5	11×10	10,2	13,8	880
4382	85	Com	12 22,8	+18 28	S0	G5	11×8	10,0	13,8	721
4472	49	Vir	12 27,3	+8 16	E1	G5	7×7	9,3	13,8	918

Продолжение табл. 34

Галактика		Созвездие	α_{1950}	δ_{1950}	Тип	Спектр	Угловые размеры	Инт. m фот	Расст. *), Мпс	Лучевая **) скорость v_r, км/с
NGC	M									
4486	87	Com	$12^h28^m,3$	+12°40′	E0	G5	9′×6′	$10^m,1$	13,8	1220
4501	88	Com	12 29,5	+14 42	Sc	G5	9×6	10,1	13,8	2060
4565	—	Com	12 33,9	+26 16	Sb	G0	15×1	10,2	15,2	1171
4594 ***)	104	Vir	12 37,3	−11 21	Sb	G3	12×11	9,2	13,8	1050
4631	—	CVn	12 39,8	+32 49	Im	E	19×4	9,7	8,0	611
4649	60	Vir	12 41,1	+11 49	E2	G7	10×9	9,9	13,8	1321
4736	94	CVn	12 48,6	+41 23	Sb	G0	15×13	8,9	10	340
4826	64	Com	12 54,3	+21 57	Sb	G7	12×8	9,3	10	360
5005	—	CVn	13 08,5	+37 19	Sb	G0	5×2	10,5	14,4	1078
5055	63	CVn	13 13,5	+42 17	Sb	F8	16×10	9,3	8,0	575
5128	—	Cen	13 22,4	−42 45	E0p	F8	31×25	7,9	3,8	260
5194	51	CVn	13 27,8	+47 27	Sc	F8	14×10	8,9	7,0	550
5236	83	Hya	13 34,3	−29 37	Sc	F0	11×9	8,4	3,8	319
5457	101	UMa	14 01,4	+54 35	Sc	F8	28×28	8,2	7,0	394
6822	—	Sgr	19 42,1	−14 53	Im	Em	20×20	9,2	0,4	98
7331	—	Peg	22 34,8	+34 10	Sb	G8	9×2	10,2	14,3	1072
7793	—	Scl	23 55,3	−32 51	Sd	F5	10×7	9,4	2,1	290

*) Для $cz > 500$ км/с расст. опред. по красному смещению при постоянной Хаббла $H = 75$ км/с·Мпс. Для близких галактик — по различным индикаторам расстояний.

**) Исправлено за движение Солнца относительно Местной группы галактик (т. е. за вращение Солнца вокруг центра Галактики и за движение Галактики в Местной группе).

***) «Сомбреро», с темной полосой.

Таблица 35

Переход от экваториальных координат (α, δ) к галактическим (*l*, *b*) в новой системе галактических координат

Северное полушарие

α \ δ		+90°		+80°		+70°		+60°		+50°		+40°		+30°		+20°		+10°		0°	
h	m	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*
0	0	123°	+27°	121°	+18°	119°	+8°	117°	−2°	115°	−12°	113°	−22°	111°	−31°	108°	−41°	104°	−51°	98°	−60°
	20	123	+27	122	+17	120	+8	119	−2	118	−12	117	−22	116	−32	113	−42	111	−52	108	−62
	40	123	+27	123	+17	122	+7	122	−3	122	−13	121	−23	121	−33	120	−43	119	−53	118	−63
1	0	123	+27	124	+17	124	+7	124	−3	125	−13	125	−23	126	−33	127	−43	127	−53	129	−62
	20	123	+27	124	+17	126	+8	127	−2	128	−12	129	−22	131	−32	133	−42	135	−52	139	−62
	40	123	+27	125	+18	129	+8	129	−2	131	−12	133	−22	136	−31	139	−41	143	−51	149	−60
2	0	123	+27	126	+18	129	+8	132	−1	135	−11	137	−21	141	−30	145	−40	150	−49	158	−58
	20	123	+27	127	+18	131	+9	134	−1	138	−10	141	−19	145	−29	150	−38	157	−47	165	−55
	40	123	+27	128	+18	132	+9	136	0	141	−9	145	−18	150	−27	156	−36	163	−44	172	−52
3	0	123	+27	129	+19	134	+10	139	+1	144	−7	149	−16	154	−25	160	−33	168	−41	177	−48
	20	123	+27	129	+19	135	+11	141	+3	146	−6	152	−14	158	−22	165	−30	173	−38	182	−45
	40	123	+27	130	+20	137	+12	143	+4	149	−4	155	−12	162	−20	169	−27	177	−34	187	−41
4	0	123	+27	131	+20	138	+13	145	+6	151	−2	158	−9	165	−17	172	−24	181	−31	190	−37
	20	123	+27	132	+21	139	+14	147	+7	154	0	161	−7	168	−14	176	−20	184	−27	194	−33
	40	123	+27	132	+22	140	+16	148	+9	156	+3	163	−4	171	−10	179	−17	188	−23	197	−28
5	0	123	+27	133	+22	142	+17	150	+11	158	+5	166	−1	174	−7	182	−13	191	−19	200	−24
	20	123	+27	133	+23	142	+19	151	+13	160	+8	168	+2	176	−4	185	−9	193	−15	202	−20
	40	123	+27	133	+24	143	+20	153	+15	162	+11	170	+5	179	0	187	−5	196	−10	205	−15
6	0	123	+27	134	+25	144	+22	154	+18	163	+13	172	+9	181	+4	190	−1	198	−6	207	−11
	20	123	+27	134	+26	145	+23	155	+20	165	+16	174	+12	183	+8	192	+3	201	−2	210	−6
	40	123	+27	134	+27	145	+25	156	+22	166	+19	176	+16	185	+12	194	+7	203	+3	212	−2
7	0	123	+27	134	+27	145	+27	156	+25	167	+22	177	+19	187	+15	196	+11	205	+7	214	+2
	20	123	+27	134	+28	146	+28	157	+27	168	+25	178	+23	189	+20	198	+16	208	+11	217	+7
	40	123	+27	134	+29	146	+30	157	+30	169	+29	180	+26	190	+24	200	+20	210	+16	219	+11

Продолжение табл. 35

Северное полушарие

α \ δ		+90° *l*	+90° *b*	+80° *l*	+80° *b*	+70° *l*	+70° *b*	+60° *l*	+60° *b*	+50° *l*	+50° *b*	+40° *l*	+40° *b*	+30° *l*	+30° *b*	+20° *l*	+20° *b*	+10° *l*	+10° *b*	0° *l*	0° *b*
h	m																				
8	0	123	+27	134	+30	146	+32	157	+32	169	+32	181	+30	192	+28	202	+24	212	+20	221	+16
	20	123	+27	134	+31	145	+33	157	+35	169	+35	181	+34	193	+32	204	+29	214	+25	224	+20
	40	123	+27	133	+32	145	+35	157	+37	169	+38	182	+38	194	+36	206	+33	217	+29	225	+24
9	0	123	+27	133	+32	144	+37	156	+40	169	+41	182	+42	196	+40	208	+38	219	+34	229	+29
	20	123	+27	132	+33	143	+38	155	+42	169	+45	183	+45	197	+44	210	+42	222	+38	233	+33
	40	123	+37	132	+34	142	+40	154	+44	168	+48	182	+49	198	+49	212	+46	225	+42	236	+37
10	0	123	+27	131	+35	141	+41	152	+47	166	+51	182	+53	199	+53	214	+51	228	+47	240	+41
	20	123	+27	130	+35	139	+42	150	+49	164	+54	181	+57	199	+57	217	+55	232	+51	244	+45
	40	123	+27	130	+36	138	+44	148	+51	162	+57	179	+61	200	+62	220	+60	237	+55	249	+49
11	0	123	+27	129	+36	136	+45	145	+52	158	+59	177	+64	200	+66	224	+64	242	+59	255	+52
	20	123	+27	128	+37	134	+46	142	+54	154	+62	173	+68	200	+70	228	+68	248	+63	261	+55
	40	123	+27	127	+37	131	+46	138	+55	149	+64	167	+71	199	+75	234	+73	257	+66	269	+58
12	0	123	+27	126	+37	129	+47	134	+56	142	+66	159	+74	196	+79	244	+77	267	+69	278	+60
	20	123	+27	125	+37	127	+47	130	+57	135	+67	147	+76	189	+83	260	+80	280	+71	288	+62
	40	123	+27	123	+37	124	+47	125	+57	127	+67	131	+77	160	+87	287	+82	296	+72	298	+63
13	0	123	+27	122	+37	122	+44	120	+57	118	+67	113	+77	81	+86	322	+82	312	+72	309	+62
	20	123	+27	121	+37	119	+47	116	+57	110	+67	98	+76	56	+83	348	+80	327	+71	319	+62
	40	123	+27	120	+37	117	+47	112	+56	103	+65	86	+74	49	+79	3	+76	340	+69	329	+60
14	0	123	+27	119	+37	114	+46	108	+55	97	+64	78	+71	47	+74	12	+72	350	+66	338	+58
	20	123	+27	118	+37	112	+45	104	+54	92	+62	73	+67	46	+70	18	+68	358	+62	345	+55
	40	123	+27	117	+36	110	+45	101	+52	87	+59	69	+64	46	+66	23	+64	5	+59	352	+52
15	0	123	+27	116	+36	108	+43	98	+51	84	+56	66	+60	46	+61	26	+59	10	+55	357	+48
	20	123	+27	116	+35	107	+42	95	+49	82	+53	65	+56	47	+57	29	+55	14	+50	2	+45
	40	123	+27	115	+34	105	+41	94	+46	80	+50	64	+53	47	+53	32	+50	18	+46	7	+41

Продолжение табл. 35

Северное полушарие

α \ δ		+90°		+80°		+70°		+60°		+50°		+40°		+30°		+20°		+10°		0°	
h	m	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b
16	0	123°	+27°	114°	+34°	104°	+40	92°	+44°	78°	+47°	63°	+49°	48°	+48°	34°	+46°	21°	+42°	10°	+37
	20	123	+27	114	+33	103	+38	91	+42	77	+44	63	+45	49	+44	36	+42	24	+38	14	+33
	40	123	+27	113	+32	102	+36	90	+39	77	+41	64	+41	51	+40	38	+37	27	+33	17	+28
17	0	123	+27	113	+32	101	+35	89	+37	77	+38	64	+37	52	+36	40	+33	30	+29	20	+24
	20	123	+27	112	+31	101	+33	89	+35	77	+35	65	+34	53	+31	42	+28	32	+24	22	+20
	40	123	+27	112	+30	100	+32	89	+32	77	+31	66	+30	54	+27	44	+24	34	+20	25	+15
18	0	123	+27	112	+29	100	+30	89	+30	78	+28	67	+26	56	+23	46	+20	36	+15	27	+11
	20	123	+27	112	+28	100	+28	89	+27	78	+25	68	+22	58	+19	48	+15	39	+11	30	+6
	40	123	+27	112	+27	101	+26	90	+25	79	+22	69	+19	59	+15	50	+11	41	+7	32	+2
19	0	123	+27	112	+26	101	+25	90	+22	80	+19	71	+15	61	+11	52	+7	43	+2	34	−2
	20	123	+27	112	+26	101	+23	91	+20	82	+16	72	+12	63	+7	54	+3	45	−2	37	−7
	40	123	+27	112	+25	102	+21	92	+17	83	+13	74	+8	65	+3	57	−2	48	−6	39	−11
20	0	123	+27	113	+24	103	+20	93	+15	85	+10	76	+5	67	0	59	−6	50	−11	41	−16
	20	123	+27	113	+23	104	+18	95	+13	86	+8	78	+2	70	−4	62	−10	53	−15	44	−20
	40	123	+27	113	+22	105	+17	96	+11	88	+5	80	−1	72	−7	64	−13	56	−19	47	−24
21	0	123	+27	114	+22	106	+16	98	+9	90	+3	83	−4	75	−11	67	−17	59	−23	49	−29
	20	123	+27	115	+21	107	+14	100	+7	92	0	85	−7	78	−14	70	−21	62	−27	53	−33
	40	123	+27	115	+20	108	+13	101	+6	95	−2	88	−10	81	−17	74	−24	66	−31	56	−37
22	0	123	+27	116	+20	109	+12	103	+4	97	−4	91	−12	85	−20	78	−27	69	−35	60	−41
	20	123	+27	117	+19	111	+11	105	+3	100	−6	94	−14	88	−22	82	−30	74	−38	64	−45
	40	123	+27	117	+19	112	+10	108	+1	103	−7	98	−16	92	−25	86	−33	79	−41	69	−49
23	0	123	+27	118	+18	114	+9	110	0	106	−9	101	−18	97	−27	91	−36	84	−44	75	−52
	20	123	+27	119	+18	115	+9	112	−1	109	−10	105	−19	101	−29	96	−38	90	−47	81	−55
	40	123	+27	120	+18	117	+8	114	−1	112	−11	109	−21	106	−30	102	−40	97	−49	89	−57
0	0	123	+27	121	+18	119	+8	117	−2	115	−12	113	−22	111	−31	108	−41	104	−51	98	−60

Южное полушарие

α \ δ		−90°		−80°		−70°		−60°		−50°		−40°		−30°		−20°		−10°		0°	
h	m	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*
0	0	303°	−27°	306°	−37°	309°	−47°	314°	−56°	322°	−66°	339°	−74°	16°	−79	64°	−77°	87°	−69°	98°	−60°
	20	303	−27	305	−37	307	−47	310	−57	315	−67	327	−76	9	−83	80	−80	100	−71	108	−62
	40	303	−27	303	−37	304	−47	305	−57	307	−67	311	−77	340	−87	107	−82	116	−72	118	−63
1	0	303	−27	302	−37	302	−47	300	−57	298	−67	393	−77	261	−86	142	−82	132	−72	129	−62
	20	303	−27	301	−37	299	−47	296	−57	290	−67	278	−76	236	−83	168	−80	147	−71	139	−62
	40	303	−27	300	−37	297	−47	292	−56	283	−65	266	−74	229	−79	183	−76	160	−69	149	−60
2	0	303	−27	299	−37	294	−46	289	−55	277	−63	258	−71	227	−74	192	−72	170	−66	158	−58
	20	303	−27	298	−37	292	−45	284	−54	272	−62	253	−67	226	−70	198	−68	178	−62	165	−55
	40	303	−27	297	−36	290	−45	281	−52	267	−59	249	−64	226	−66	203	−64	185	−59	172	−52
3	0	303	−27	296	−36	288	−43	278	−51	264	−56	246	−60	226	−61	206	−59	190	−55	177	−48
	20	303	−27	296	−35	287	−42	275	−49	262	−53	245	−56	227	−57	209	−55	194	−51	182	−45
	40	303	−27	295	−34	285	−41	274	−46	260	−50	244	−53	227	−53	212	−50	198	−46	187	−41
4	0	303	−27	294	−34	284	−40	272	−44	258	−47	243	−49	228	−48	214	−46	201	−42	190	−37
	20	303	−27	294	−33	283	−38	271	−42	257	−44	243	−45	229	−44	216	−41	204	−38	194	−33
	40	303	−27	293	−32	282	−36	270	−39	257	−41	244	−41	231	−40	218	−37	207	−33	197	−28
5	0	303	−27	293	−32	281	−35	269	−37	257	−38	244	−37	232	−36	220	−33	210	−29	200	−24
	20	303	−27	292	−31	281	−33	269	−35	257	−35	245	−34	233	−31	222	−28	212	−24	202	−20
	40	303	−27	292	−30	280	−32	269	−32	257	−31	246	−30	234	−27	224	−24	214	−20	205	−15
6	0	303	−27	292	−29	280	−30	269	−30	258	−28	247	−26	236	−23	226	−20	216	−15	207	−11
	20	303	−27	292	−28	280	−28	269	−27	258	−25	248	−22	238	−19	228	−15	219	−11	210	−6
	40	303	−27	292	−27	281	−26	270	−25	259	−22	249	−19	239	−15	230	−11	221	−7	212	−2
7	0	303	−27	292	−26	281	−25	270	−22	260	−19	251	−15	241	−11	232	−7	223	−2	214	+2°
	20	303	−27	292	−26	281	−23	271	−20	262	−16	252	−12	243	−7	234	−3	225	+2	217	+7
	40	303	−27	292	−25	282	−21	272	−17	263	−13	254	−8	245	−3	237	+2	228	+6	219	+11

Южное полушарие

δ / α		−90°		−80°		70°		−60°		−50°		−40°		−30°		−20°		−10°		0°	
h	m	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*	*l*	*b*
8	0	303°	−27°	293°	−24°	283°	−20°	273°	−15°	265	−10	256°	−5°	247°	0°	239°	+6°	230°	+11°	221°	+16
	20	303	−27	293	−23	284	−18	275	−13	266	−8	258	−2	250	+4	242	+10	233	+15	224	+20
	40	303	−27	293	−22	285	−17	276	−11	268	−5	260	+1	252	+7	244	+13	236	+19	227	+24
9	0	303	−27	294	−22	286	−16	278	−9	270	−3	263	+4	255	+11	247	+17	239	+23	229	+29
	20	303	−27	295	−21	287	−14	280	−7	272	0	265	+7	258	+14	250	+21	242	+27	233	+33
	40	303	−27	295	−20	288	−13	281	−6	275	+2	268	+10	261	+17	254	+24	246	+31	236	+27
10	0	303	−27	296	−20	289	−12	283	−4	277	+4	271	+12	265	+20	258	+27	249	+35	240	+41
	20	303	−27	297	−19	291	−11	285	−3	280	+6	274	+14	268	+22	262	+30	254	+38	244	+45
	40	303	−27	297	−19	292	−10	288	−1	283	+7	278	+16	266	+33	259	+41	249	+41	249	+49
11	0	303	−27	298	−18	294	−9	290	0	286	+9	281	+18	277	+27	271	+36	264	+44	255	+52
	20	303	−27	299	−18	295	−9	292	+1	289	+10	285	+19	281	+29	276	+38	270	+47	261	+55
	40	303	−27	300	−18	297	−8	294	+1	292	+11	289	+21	286	+30	282	+40	277	+49	269	+58
12	0	303	−27	301	−18	299	−8	297	+2	295	+12	293	+22	291	+31	288	+41	284	+51	278	+60
	20	303	−27	302	−17	300	−8	299	+2	298	+12	297	+22	296	+32	294	+42	291	+52	288	+62
	40	303	−27	303	−17	302	−7	302	+3	302	+13	301	+23	301	+33	300	+43	299	+53	298	+63
13	0	303	−27	304	−17	304	−7	304	+3	305	+13	305	+23	306	+33	307	+43	307	+53	309	+62
	20	303	−27	304	−17	306	−8	307	+2	308	+12	309	+22	311	+32	313	+42	315	+52	319	+62
	40	303	−27	305	−18	307	−8	309	+2	311	+12	313	+22	316	+31	319	+41	323	+51	329	+60
14	0	303	−27	306	−18	309	−8	311	+1	315	+11	317	+21	321	+30	325	+40	330	+49	338	+58
	20	303	−27	307	−18	311	−9	314	+1	318	+10	321	+19	325	+29	330	+38	337	+47	345	+55
	40	303	−27	308	−18	312	−9	316	0	321	+9	325	+18	330	+27	336	+36	343	+44	352	+52
15	0	303	−27	309	−19	314	−10	319	−1	324	+7	329	+16	334	+25	340	+33	348	+41	357	+48
	20	303	−27	309	−19	315	−11	321	−3	326	+6	332	+14	338	+22	345	+30	353	+38	2	+45
	40	303	−27	310	−20	317	−12	323	−4	329	+4	335	+12	342	+20	349	+27	357	+34	7	+41

Южное полушарие

α \ δ		−90°		−80°		−70°		−60°		−50°		−40°		−30°		−20°		−10°		0°	
h	m	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b	l	b
16	0	303°	−27°	311°	−20°	318°	−13°	325°	−6°	331°	+2°	338°	+9°	345°	+17°	352°	+24°	1°	+31°	10°	+37°
	20	303	−27	312	−21	319	−14	327	−7	334	0	341	+7	348	+14	356	+20	4	+27	14	+33
	40	303	−27	312	−22	320	−16	328	−9	336	−3	343	+4	351	+10	359	+17	8	+23	17	+28
17	0	303	−27	313	−22	322	−17	330	−11	338	−5	346	+1	354	+7	2	+13	11	+19	20	+24
	20	303	−27	313	−23	322	−19	331	−13	340	−8	348	−2	356	+4	5	+9	13	+15	22	+20
	40	303	−27	313	−24	323	−20	333	−15	342	−11	350	−5	359	0	7	+5	16	+10	25	+15
18	0	303	−27	314	−25	324	−22	334	−18	343	−13	352	−8	1	−4	10	+1	18	+6	27	+11
	20	303	−27	314	−26	325	−23	335	−20	345	−16	354	−12	3	−8	12	−2	21	+2	30	+6
	40	303	−27	314	−27	325	−25	336	−22	346	−18	356	−16	5	−12	14	−7	23	−2	32	+2
19	0	303	−27	314	−27	325	−27	336	−25	347	−22	357	−19	7	−15	16	−11	25	−7	34	−2
	20	303	−27	314	−28	326	−28	337	−27	348	−25	358	−23	9	−20	18	−16	28	−11	37	−7
	40	303	−27	314	−29	326	−30	337	−30	349	−29	0	−26	10	−24	20	−20	30	−16	39	−11
20	0	303	−27	314	−30	326	−32	337	−32	349	−32	1	−30	12	−28	22	−24	32	−20	41	−16
	20	303	−27	314	−31	325	−33	337	−35	349	−35	1	−34	13	−32	24	−29	34	−25	44	−20
	40	303	−27	313	−32	325	−35	337	−37	349	−38	2	−38	14	−36	26	−33	37	−29	47	−24
21	0	303	−27	313	−32	324	−37	336	−40	349	−41	2	−42	16	−40	28	−38	39	−34	49	−29
	20	303	−27	312	−33	323	−38	335	−42	349	−45	3	−45	17	−44	30	−42	42	−38	53	−33
	40	303	−27	312	−34	322	−40	334	−44	348	−48	2	−49	18	−49	32	−46	45	−42	56	−37
22	0	303	−27	311	−35	321	−41	332	−47	346	−51	2	−53	19	−53	34	−51	48	−47	60	−41
	20	303	−27	310	−35	319	−42	330	−49	344	−54	1	−57	19	−57	37	−55	52	−51	64	−45
	40	303	−27	310	−36	318	−44	328	−51	342	−57	359	−61	20	−62	40	−60	57	−55	69	−49
23	0	303	−27	309	−36	316	−45	325	−52	338	−59	357	−64	20	−66	44	−64	62	−59°	75	−52°
	20	303	−27	308	−37	314	−46	322	−54	334	−62	353	−68	20	−70	48	−68	68	−63	81	−55
	40	303	−27	307	−37	311	−46	318	−55	329	−64	347	−71	19	−75	54	−73	77	−66	89	−58
0	0	303	−27	306	−37	309	−47	314	−56	322	−66	339	−74	16	−79	64	−77	87	−69	98	−60

Таблица 36

Относительная спектральная чувствительность глаза

Длина волны в Å	Дневное зрение (колбочки)	Ночное зрение (палочки)	Длина волны в Å	Дневное зрение (колбочки)	Ночное зрение (палочки)
3800	0,00004	—	5800	0,870	0,140
3900	0,00012	—	5900	0,757	0,083
4000	0,0004	0,0185	6000	0,631	0,0490
4100	0,0012	0,040	6100	0,503	0,0300
4200	0,0040	0,076	6200	0,381	0,0175
4300	0,0116	0,132	6300	0,265	0,0100
4400	0,023	0,213	6400	0,175	0,0058
4500	0,038	0,302	6500	0,107	0,0032
4600	0,060	0,406	6600	0,061	0,0017
4700	0,091	0,520	6700	0,032	0,00087
4800	0,139	0,650	6800	0,017	0,00044
4900	0,208	0,770	6900	0,0082	0,00021
5000	0,323	0,900	7000	0,0041	0,00010
5100	0,503	0,985	7100	0,0021	—
5200	0,710	0,960	7200	0,00105	—
5300	0,862	0,840	7300	0,00052	—
5400	0,954	0,680	7400	0,00025	—
5500	0,995	0,500	7500	0,00012	—
5600	0,995	0,350	7600	0,00006	—
5700	0,952	0,228	7700	0,00003	—

Таблица 37

Основные линии солнечного спектра, наблюдаемые с поверхности Земли

Обозначения	λ в Å	Интенс.	Элемент	Цвет	Обозначения	λ в Å	Интенс.	Элемент	Цвет
A	7621,3	3—25	O_2 *)	к					
	7594,1	?	*)	к	F (H_β)	4861,342	30	H	г
a	7184,6	?	H_2O *)	к		4404,763	10	Fe	с
B	6870,2	0—15	O_2 *)	к	d	4383,557	15	Fe	с
C (H_α)	6562,808	40	H	к	G′ (H_γ)	4340,475	20	H	ф
α	6278,1	?	. . .	о	f	4325,8	8	Fe	ф
D_1	5895,940	20	Na	ж	G	{ 4307,914	6	Fe, Ti^+	ф
D_2	5889,973	30	Na	ж		{ 4307,749	3	Ca	ф
D_3	5875,618	2	He **)	ж	g	4226,740	20	Ca	ф
	5316,8	2	Fe^+ ***)	з	h (H_δ)	{ 4104,748	40	H	ф
	5316,6	4	Sc, Fe^+	з		{ 4101,685	3	Fe	ф
E_1	5270,3	7	Fe, Ca	з		4063,607	20	Fe	ф
E_2	5269,56	8	Fe	з		4045,825	30	Fe	ф
b_1	5183,619	30	Mg	з	H	3968,492	700	Ca^+	ф
b_2	5172,700	20	Mg	з	K	3933,682	1000	Ca^+	ф
b_3	5169,0	4	Fe^+	з	L	3820,436	25	Fe, C	ф
b_4	{ 5167,510	5	Fe	з	M	3734,874	40	Fe	ф
	{ 5167,327	15	Mg	з	N	3581,209	30	Fe	ф

*) Теллурические линии (линии поглощения земной атмосферы, от слова Tellus — род. п. слова «Земля»; их интенсивность зависит от состояния атмосферы).

**) Линия, испускаемая только хромосферой.

***) + обозначает однажды ионизованный атом.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
КАТАЛОГ ДЕТАЛЕЙ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(рис. 196)

		Квадрат
Море Влажности	Mare Humorum	c1
Море Облаков	Mare Nubium	b2
Море Нектара	Mare Nectaris	a2
Море Изобилия	Mare Foecunditatis	a2
Море Спокойствия	Mare Tranquillitatis	a2
Море Кризисов	Mare Crisium	a2
Море Ясности	Mare Serenitatis	b3
Море Паров	Mare Vaporum	b2
Море Дождей	Mare Imbrium	b3
Океан Бурь	Oceanus Procellarum	c2
Море Холода	Mare Frigoris	b3
Центральный Залив	Sinus Medii	b2
Залив Зноя	Sinus Aestuum	b2
Залив Радуги	Sinus Iridum	c3
Залив Росы	Sinus Roris	c3
Озеро Снов	Lacus Somniorum	a3
Горы Пиренеи	Montes Pyrenaee	a2
Горы Алтай	Montes Altai	a1
Горы Карпаты	Montes Carpates	c3
Горы Апеннины	Montes Apenninae	b3
Горы Кавказ	Montes Caucasus	b3
Горы Тавр	Montes Taurus	a3
Горы Альпы	Montes Alpes	b3
Мыс Геркулеса	Cap Heraclides (B)	c3
Мыс Лапласа	Cap Laplace (C)	b3

Кольцевые горы (кратеры)

№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат
1	Ньютон	b1	26	Варгентин	c1	50	Риччи	a1
2	Шортт	b1	27	Ингирами	c1	51	Рейта	a1
3	Симпелий	b1	28	Шиккард	c1	52	Фурнерий	a1
4	Манзин	b1	29	Вильгельм	b1	53	Стевин	a1
5	Морет	b1	30	Тихо	b1	54	Газе	a1
6	Грумбергер	b1	31	Соссюр	b1	55	Снеллий	a1
7	Казат	b1	32	Штефлер	b1	56	—	a1
8	Клапрот	b1	33	Мавролик	b1	57	Неандр	a1
9	Вильсон	b1	34	Бароций	b1	58	Пикколомини	a1
10	Кирхер	b1	35	Фабриций	a1			
11	Беттин	b1	36	Меций	a1	59	Понтан	b1
12	Бланкан	b1	37	Фернелий	b1	60	Пуассон	b1
13	Клавий	b1	38	Гензий	b1	61	Алиацен	b1
14	Шейнер	b1	39	Гайнзель	c1	62	Вернер	b1
15	Цухий	c1	40	Бувар	c1	62a	Апиан	b1
16	Сегнер	c1	41	Пиацци	c1	63	Питат	b1
17	Бэкон	b1	42	Рамсден	c1	64	Геснод	b1
18	Неарх	b1	43	Капуан	c1	65	Меркатор	c1
19	Влакк	a1	44	Цих	b1	66	Вителло	c1
20	Гоммель	b1	45	Вюрцельбауэр	b1	67	Фурье	c1
21	Лицет	b1				68	Лагранж	c1
22	Магин	b1	46	Гаурик	b1	69	Виета	c1
23	Лонгомонтан	b1	47	Хэлл	b1	70	Доппельмайер	c1
24	Шиллер	c1	48	Вальтер	b1			
25	Фоциклид	c1	49	Нониус	b1			

Рис. 196. Карта деталей лунной поверхности.

№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат	№	Название	Квадрат
71	Кампан	c1	126	Флемстид	c2	179	Жансен	a2
72	Кис	b1	127	Ландсберг	c2	180	Витрувий	a2
73	Пурбах	b1	128	Мёстинг	b2	181	Маральди	a2
74	Лакайль	b1	129	Деламбр	b2	182	Макробий	a3
75	Плейфер	b1	130	Тэйлор	b2	183	Клеомед	a3
76	Азофи	b1	131	Мессье	a2	184	Рёмер	a3
77	Сакробоско	b1	132	Маскелайн	a2	185	Литтров	a3
78	Фракастор	a1	133	Сабин	a2	186	Посидоний	a3
79	Сантбек	a1	134	Риттер	b2	187	Гемин	a3
80	Петавий	a1	135	Годин	b2	188	Бессель	b3
81	Гумбольдт	a1	136	Зоммеринг	b2	189	Автолик	b3
82	Полибий	a1	137	Шрётер	b2	190	Аристилл	b3
83	Гебер	b2	138	Гамбар	b2	191	Архимед	b3
84	Арзахель	b2	139	Рейнгольд	c2	192	Тимохарис	b3
85	Фебит	b1	140	Энке	c2	193	Ламберт	b3
86	Буллиальд	c1	141	Гевелий	c2	194	Диофант	b3
87	Гиппал	c1	142	Риччоли	c2	195	Делиль	c3
88	Кавендиш	c1	143	Лорманн	c2	196	Бригг	c3
89	Мерсенн	c1	144	Кавалерий	c2	197	Лихтенберг	c3
90	Гассенди	c2	145	Рейнер	c2	198	Фетас	c3
91	Любинецкий	c2	146	Кеплер	c2	199	Калипп	b3
92	Альпетрагий	b2	147	Коперник	c2	200	Кассини	b3
93	Эри	b2	148	Боде	b2	201	Гаусс	b3
94	Аль Манун	b2	149	Паллас	b2	202	Мессель	a3
95	Катарина	a2	150	Тринснеккер	b2	203	Струве	a3
96	Кирилл	a2	151	Агриппа	b2	203a	Мазон	a3
97	Феофил	a2	152	Араго	a2	204	Плана	a3
98	Колумб	a2	153	Тарунций	a2	205	Бюрг	a3
99	Венделин	a2	154	Шуберт	a2	206	Эгеде	b3
100	Лангрен	a2	155	Аполлоний	a2	207	Бэйли	a3
101	Гоклен	a2	156	Фирминик	a2	208	Евдокс	b3
102	Гутенберг	a2	157	Зильбер-шлаг	b2	209	Аристотель	b3
103	Исидор	a2				210	Платон	b3
104	Капелла	a2	158	Гигинус	b2	211	Леверье	b3
105	Кант	a2	159	Укерт	b2	212	Геликон	b3
106	Декарт	b2	160	Боскович	b2	213	Мопертюи	b3
107	Абу-л-Феда	b2	161	Росс	a2	214	Кондамин	b3
108	Парро	b2	162	Прокл	a2	215	Бианчини	c3
109	Аль-Баттани	b2	163	Пикар	a2	216	Шарп	c3
110	Альфонс	b2	164	Кондорсе	a2	217	Майран	c3
111	Птолемей	b2	165	Плиний	a2	218	Жерар	c3
112	Гершель	b2	166	Менелай	b2	219	Репсольд	c3
113	Дэви	b2	167	Манилий	b2	220	Пифагор	c3
114	Герика	b2	168	Эратосфен	b2	221	Фонтенель	b3
115	Пэрри	b2	169	Гей-Люссак	c2	222	Эпиген	b3
116	Бонплан	b2	170	Майер	c2	223	Тимей	b3
117	Реомюр	b2	171	Марий	c2	224	Гертнер	b3
118	Лаланд	b2	172	Ольберс	c2	225	Фалес	a3
119	Гиппарх	b2	173	Васко да Гама	c3	226	Страбон	a3
120	Летрон	c2				227	Эндимион	a3
121	Билли	c2	174	Селевк	c3	228	Атлас	a3
122	Фонтана	c2	175	Геродот	c3	229	Геркулес	a3
123	Ганстин	c2	176	Аристарх	c3	A	Местинг A	b2
124	Дамуазо	c2	177	Ла Гир	c3	D	«Прямая стена»	b1
125	Гримальди	c2	178	Пифей	b3			

ПРИЛОЖЕНИЕ II

СТЕРЕОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТКА Г. В. ВУЛЬФА

(см. вкладку в конце книги)

ПРИЛОЖЕНИЕ III

ОРТОГРАФИЧЕСКИЕ СЕТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА

(см. вкладку в конце книги)

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

КООРДИНАТНЫЕ СЕТКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ ПЛАНЕТ

(см. вкладку в конце книги)

ПРИЛОЖЕНИЕ V

КАТАЛОГ ОСНОВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

(указаны ареографические координаты; см. рис. 197 на вкладке)

Acidalium Mare (30°, +45°)
Aeolis (215°, −5°)
Aeria (310°, +10°)
Aetheria (230°, +40°)
Aethiopis (230°, +10°)
Amazonis (140°, 0°)
Amenthes (250°, +5°)
Aonius Sinus (105°, −45°)
Arabia (330°, +20°)
Araxes (115°, −25°)
Arcadia (100°, +45°)
Argyre (25°, −45°)
Arnon (335°, +48°)
Aurorae S. (50°, −15°)
Ausonia (250°, −40°)
Australe M. (40°, −60°)
Baltia (50°, +60°)
Boreosyrtis (290°, +55°)
Boreum M. (90°, +50°)
Candor (75°, +3°)
Casius (260°, +40°)
Cebrenia (210°, +50°)
Cecropia (320°, +60°)
Ceraunius (95°, +20°)
Cerberus (205°, +15°)
Chalce (0°, −50°)
Chersonesus (260°, −50°)
Chronium M. (210°, −58°)
Chryse (30°, +10°)
Chrysokeras (110°, −50°)
Cimmerium M. (220°, −20°)
Claritas (110°, −35°)
Copais Palus (280°, +55°)
Coprates (65°, −15°)
Cyclopia (230°, −5°)
Cydonia (0°, +40°)
Deltoton S. (305°, −4°)
Deucalionis Regio (340°, −15°)
Deuteronilus (0°, +35°)
Diacria (180°, +50°)
Dioscuria (320°, +50°)
Edom (345°, 0°)
Electris (190°, −45°)
Elysium (210°, +25°)
Eridania (220°, −45°)
Erythraeum M. (40°, −25°
Eunostos (220°, +22°)
Euphrates (335°, +20°)
Gehon (0°, +15°)
Hadriaticum M. (270°, −40°)
Hellas (290°, −40°)
Hellespontica Depressio (340°, −6°)
Hellespontus (325°, −50°)
Hesperia (240°, −20°)
Hiddekel (345°, +15°)
Hyperboreus Lacus (60°, +75°)
Iapigia (295°, −20°)
Icaria (130°, −40°)
Isidis R. (275°, +20°)
Ismenius L. (330°, +40°)
Jamuna (40°, +10°)
Juventae Fons (63°, −5°)
Laestrygon (200°, 0°)
Lemuria (200°, +70°)
Libya (270°, 0°)
Lunae P. (65°, +15°)
Margaritifer S. (25°, −10°)
Memnonia (150°, −20°)
Meroe (285°, +35°)
Meridiani S. (0°, −5°)
Moab (350°, +20°)
Moeris L. (270°, +8°)
Nectar (72°, −28°)
Neith R. (270°, +35°)
Nepenthes (260°, +20°)
Nereidum Fretum (55°, −45°)
Niliacus L. (30°, +30°)
Nilokeras (55°, +30°)
Nilosyrtis (290°, +42°)
Nix Olympica (130°, +20°)
Noachis (330°, −45°)
Ogygis R. (65°, −45°)
Olympia (200°, +80°)
Ophir (65°, −10°)
Ortygia (0°, +60°)
Oxia P. (18°, +8°)
Oxus (10°, +20°)
Panchaia (200°, +60°)
Pandorae Fr. (340°, −25°)
Phaethontis (155°, −50°)
Phison (320°, +20°)
Phlegra (190°, +30°)
Phoenicis L. (110°, −12°)
Phrixi R. (70°, −40°)
Promethei S. (280°, −65°)
Propontis (185°, +45°)
Protei R. (50°, −23°)
Protonilus (315°, +42°)
Pyrrhae R. (38°, −15°)
Sabaeus S. (340°, −8°)
Scandia (150°, +60°)
Serpentis M. (320°, −30°)
Sinai (70°, −20°)
Sirenum M. (155°, −30°)
Sithonius L. (245°, +45°)
Solis L. (90°, −28°)
Styx (200°, +30°)
Syria (100°, −20°)
Syrtis Major (290°, +10°)
Tanaïs (70°, +50°)
Tempe (70°, +40°)
Thaumasia (85°, −35°)
Thoth (255°, +30°)
Thyle I (180°, −70°)
Thyle II (230°, −70°)
Thymiamata (10°, +10°)
Tithonius L. (85°, −5°)
Tractus Albus (80°, +30°)
Trinacria (268°, −25°)
Trivium Charontis (198°, +20°
Tyrrhenium M. (225°, −20°)
Uchronia (260°, +70°)
Umbra (290°, +50°)
Utopia (250°, +50°)
Vulcani Pelagus (15°, −35°)
Xanthe (50°, +10°)
Yaonis R. (320°, −40°)
Zephyria (195°, 0°)

Обозначения: Mare (M.) — море, Lacus (L.) — озеро, Sinus (S.) — залив, Regio (R.) — область, Palus (P.) — болото, Fretum (Fr.) — пролив, Depressio (D.) — низина, Fons (F.) — источник.

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

ЗВЕЗДЫ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО СТАНДАРТА

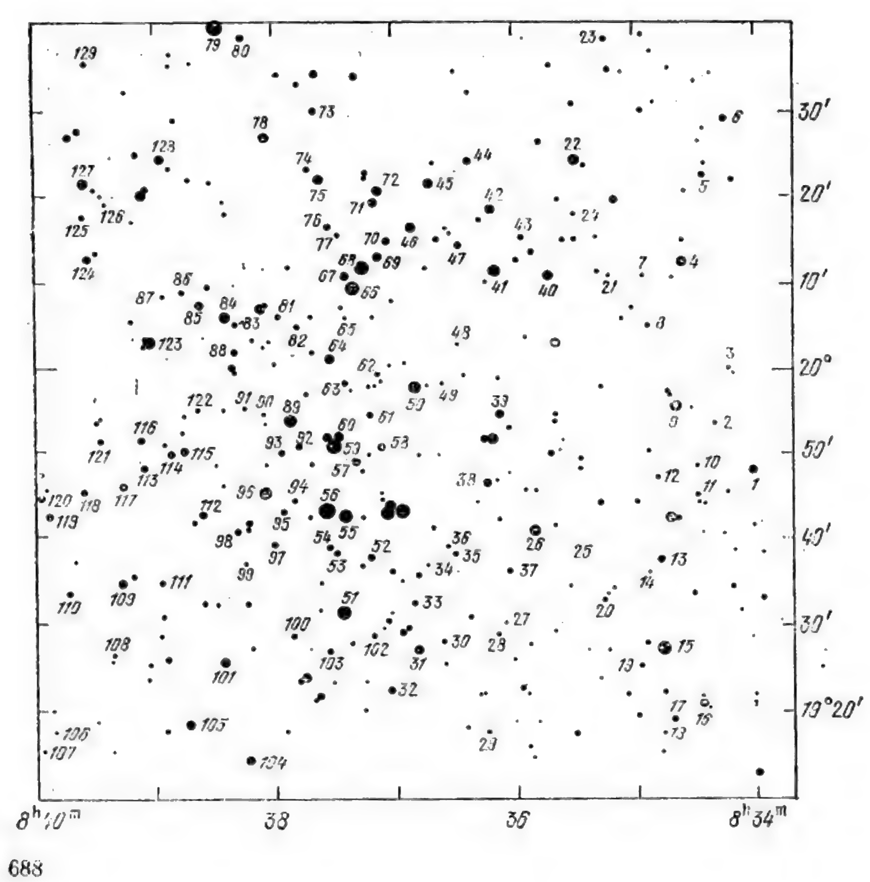
Ясли

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	$B-V$	$U-B$
1	$8^h34^m00^s$	$+19°\ 48',0$	$9^m,16$	$0^m,51$	—
2	34 19	53,0	11,45	0,74	—
3	34 10	20 00,0	11,33	0,71	—
4	34 35	12,5	8,70	0,30	$0^m,07$
5	34 23	22,0	11,40	0,73	0,22
6	34 11	29,5	11,00	0,71	—
7	34 55	00,8	11,26	0,67	0,19
8	34 53	05,2	11,38	0,86	—
9	34 40	19 55,0	7,79	0,22	—
10	34 29	48,0	11,65	0,78	0,39
11	34 28	45,0	9,73	0,57	—
12	34 48	47,0	12,33	0,91	0,64
13	34 49	37,5	10,65	0,60	—
14	34 53	36,0	12,95	0,97	—
15	34 48	27,5	6,75	0,19	0,11
16	34 28	20,8	9,47	0,45	—
17	34 43	19,3	9,82	0,50	—
18	34 49	17,8	12,28	0,90	0,65
19	35 00	25,5	11,81	0,80	0,41
20	35 17	32,5	10,90	0,70	0,22
21	35 11	20 10,7	12,11	0,87	0,54
22	35 27	24,2	7,83	0,48	0,06
23	8 35 10	38,0	11,72	0,78	0,38
24	35 28	18,2	10,55	0,58	0,09
25	35 35	19 38,6	10,01	1,01	0,78
26	35 51	40,5	9,00	0,32	0,03
27	36 06	30,1	12,38	0,91	—
28	36 10	29,0	12,37	0,45	−0,05
29	36 16	17,7	10,58	0,57	0,07
30	36 38	28,0	10,95	0,25	0,08
31	36 50	27,0	7,67	0,20	0,11
32	37 04	22,0	9,49	0,41	−0,01
33	36 51	32,0	10,66	0,58	0,09
34	36 44	37,0	12,65	0,97	0,77
35	36 30	38,2	10,47	0,59	0,08
36	36 34	38,8	11,59	0,91	—
37	36 04	36,0	11,18	0,28	0,07
38	36 14	46,3	8,50	0,25	0,07
39	36 07	54,6	9,31	0,49	0,02

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	B—V	U—B
40	$8^h35^m42^s$	20° 10′,8	8^m,14	0^m,21	0^m,11
41	36 08	11,3	8,31	0,23	0,09
42	36 09	18,5	9,39	0,40	0,00
43	35 55	15,4	10,80	0,60	0,09
44	36 20	24,0	11,31	0,70	0,24
45	36 39	21,5	9,09	1,27	1,41
46	36 49	16,2	7,73	0,22	0,09
47	36 25	14,4	14,94	1,48	1,10
48	36 27	22,8	12,53	0,94	0,70
49	36 36	19 58,7	12,64	1,00	0,76
50	36 49	58,0	6,67	0,25	0,15
51	37 27	31,0	6,78	0,26	0,13
52	37 12	37,7	10,24	0,57	—
53	37 30	38,0	10,69	0,58	0,09
54	37 33	38,8	9,85	0,47	—
55	37 25	42,0	7,54	0,16	0,13
56	37 34	42,4	6,30	0,17	0,16
57	37 19	49,0	9,39	0,48	0,00
58	37 05	51,0	9,78	0,38	0,08
59	37 30	50,6	6,44	1,02	0,90
60	37 28	51,5	7,70	0,20	0,16
61	37 10	54,0	9,79	0,47	0,00
62	37 08	59,5	10,30	0,51	0,00
63	37 25	58,0	9,96	0,58	0,08
64	37 31	20 01,0	8,02	0,19	0,13
65	37 23	05,8	12,68	1,03	—
66	37 19	09,4	6,61	0,01	0,02
67	37 23	10,5	8,81	0,32	0,06
68	37 14	11,5	6,39	0,98	0,83
69	37 08	12,8	9,23	0,39	0,00
70	37 03	15,0	10,11	0,49	0,00
71	37 10	19,5	9,67	0,44	−0,02
72	37 06	20,6	8,89	0,32	0,04
73	37 36	30,0	11,59	0,87	—
74	37 40	23,0	11,52	0,74	0,31
75	37 35	22,0	8,18	0,30	0,09
76	37 30	17,2	10,08	0,51	0,01
77	37 25	15,5	12,35	0,26	0,06
78	38 02	27,0	8,48	0,26	0,08
79	38 25	39,5	6,73	0,10	0,05
80	38 12	38,3	12,35	0,93	—

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	B−V	U−B
81	$8^h37^m58^s$	20° 06′,0	11^m,03	0^m,65	0^m,17
82	37 48	05,0	11,72	0,32	−0,02
83	38 20	05,2	11,87	0,59	0,00
84	38 24	06,0	8,33	0,20	0,05
85	38 37	07,5	10,72	0,59	0,10
86	38 45	08,8	11,71	0,78	0,38
87	38 56	08,3	12,36	0,89	0,59
88	38 20	02,0	10,70	0,69	—
89	37 51	19 53,5	6,85	0,20	0,15
90	38 07	54,0	12,17	0,87	—
91	38 15	54,8	13,70	0,81	0,40
92	37 50	50,2	10,87	0,68	0,19
93	37 58	50,0	11,02	0,72	0,27
94	37 51	44,0	11,39	0,98	0,42
95	37 58	42,3	11,34	0,72	0,26
96	38 06	44,5	6,78	0,17	0,14
97	38 02	39,0	10,30	0,52	0,03
98	38 20	40,2	10,11	0,50	0,03
99	38 18	36,7	12,43	0,93	0,66
100	37 54	28,5	9,55	0,43	0,00
101	38 30	25,3	7,92	0,24	0,10
102	37 12	28,8	11,01	0,78	0,38
103	37 35	27,0	11,17	0,66	0,19
104	38 18	14,0	10,18	0,65	0,18
105	38 48	18,3	9,32	0,39	−0,02
106	39 55	17,5	12,15	0,85	0,53
107	39 57	15,6	11,62	0,76	0,36
108	39 24	26,0	12,15	0,88	0,56
109	39 20	34,0	7,96	0,21	0,10
110	39 45	33,0	10,99	0,65	0,16
111	39 00	34,2	11,42	0,53	0,03
112	38 38	42,0	9,83	0,46	—
113	39 07	47,8	11,03	0,42	0,00
114	38 54	49,5	9,59	0,41	0,00
115	38 46	49,7	8,50	1,05	0,92
116	39 08	51,0	11,05	0,65	0,18
117	39 18	45,5	10,63	0,92	0,66
118	39 38	44,5	10,99	0,55	0,03
119	39 55	42,0	9,77	0,48	−0,01
120	39 58	44,0	9,68	0,43	—
121	39 28	51,0	9,88	0,46	0,01

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	$B-V$	$U-B$
122	$8^h38^m40^s$	19° 54′,8	$10^m,93$	$0^m,62$	$0^m,13$
123	39 02	20 03,0	6,90	0,96	0,74
124	39 32	12,7	9,71	0,55	0,06
125	39 36	17,7	12,10	0,90	0,62
126	39 23	19,4	13,22	1,12	0,97
127	39 34	21,4	9,23	0,39	0,01
128	38 56	24,2	10,47	0,56	0,06
129	39 31	35,3	12,39	0,91	—



Область α Персея

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	B—V	U—B	Sp
1	$3^h07^m21^s$	50° 10′,7	11^m,06	0^m,648	0^m,24	F2
2	07 19	50 21,6	11,09	0,700	0,16	G4
3	07 48	48 01,3	10,42	0,645	0,13	G1
4	08 08	47 50,2	8,60	0,340	0,06	F0
5	09 10	47 39,0	8,97	0,316	0,11	F1
6	09 55	47 59,0	5,90	0,971	0,81	G5
7	09 40	48 49,0	7,94	0,121	0,03	A:
8	10 45	48 23,5	9,14	0,333	0,15	A7
9	10 57	48 11,2	9,95	0,468	0,16	A5
10	10 20	49 22,0	7,15	0,040	−0,11	B9
11	10 33	50 12,0	8,93	0,577	0,36	F5
12	11 54	49 14,8	10,11	0,512	0,01	F7
13	12 35	48 00,0	10,71	0,645	0,15	F7
14	12 22	47 50,0	8,09	0,214	0,15	A0
15	12 08	47 43,5	9,93	0,636	0,16	F7
16	12 10	47 30,7	10,41	0,602	0,09	F7
17	13 31	47 27,3	9,86	1,302	1,11	G6
18	14 09	47 55,2	10,51	0,678	0,18	F3
19	14 04	48 38,9	11,01	0,683	0,16	G3
20	14 31	49 27,3	9,68	0,439	0,01	F4
21	13 52	49 19,1	9,93	0,558	0,02	F6
22	15 12	49 35,0	7,93	0,116	0,11	A0
23	14 38	49 43,0	9,90	0,497	−0,01	F8
24	12 48	49 45,5	10,33	0,558	0,04	F7
25	15 32	49 55,0	5,04	−0,080	−0,49	B3
26	15 06	50 02,5	5,15	−0,061	−0,55	B3
27	15 12	50 12,3	10,28	0,592	0,08	F7
28	13 20	51 02,5	7,19	0,034	−0,19	B9
29	12 36	51 16,0	9,25	0,430	0,16	F2
30	16 09	48 42,5	9,23	0,453	0,10	F4
31	16 16	48 26,5	7,64	0,073	0,01	A0
32	17 55	48 18,0	9,16	0,394	0,13	A8
33	18 26	47 46,0	8,35	0,115	0,07	A0
34	18 03	48 54,0	9,56	0,446	0,04	F4
35	18 28	49 00,0	9,14	0,351	0,13	A9
36	19 40	49 09,5	5,26	−0,076	−0,52	B3
37	20 06	47 40,4	9,79	0,676	0,20	F3
38	21 10	47 44,0	7,63	0,114	0,04	A0
39	20 47	47 18,4	11,13	0,614	0,11	F5
40	21 22	47 14,3	9,71	0,476	0,02	F5
41	21 56	47 47,2	9,25	0,413	0,29	A5
42	22 35	48 03,0	8,48	0,200	0,15	A3
43	22 40	48 13,0	7,49	0,034	−0,02	A0

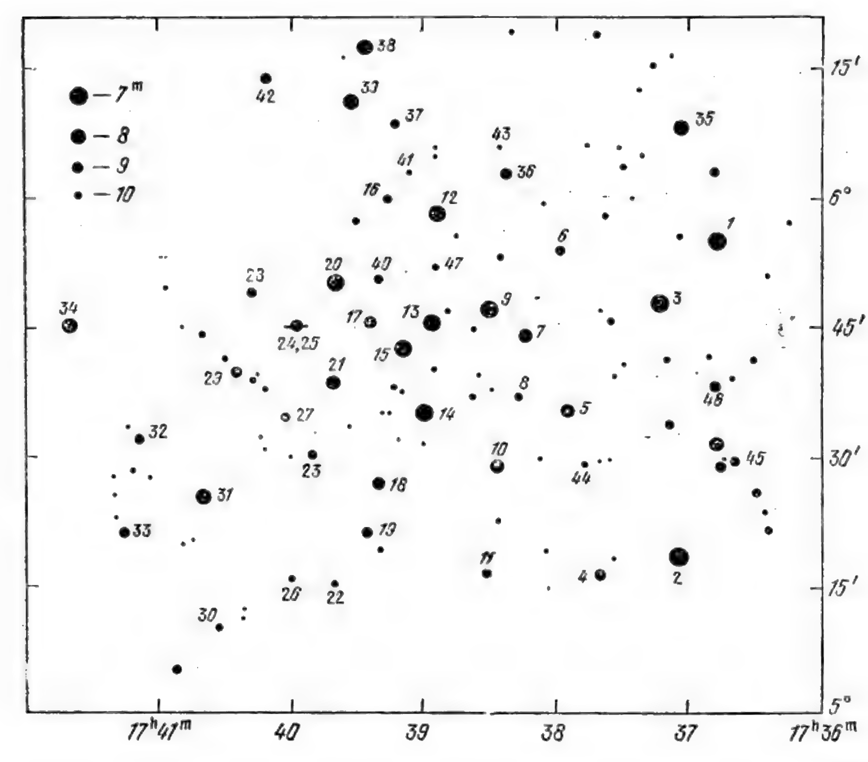
№	α_{1951}	δ_{1951}	V	B—V	U—B	Sp
44	$3^h23^m28^s$	48° 02′,0	6^m,83	-0^m,016	-0^m,19	B9
45	23 10	47 45,5	7,72	0,113	0,03	A
46	21 14	48 40,9	11,66	0,817	0,28	G—K
47	22 18	48 58,0	6,06	−0,079	−0,48	B5
48	22 30	48 37,5	10,54	0,565	0,04	G0
49	21 35	49 05,5	8,15	0,119	0,11	A
50	21 47	49 09,0	8,42	0,189	0,13	A4
51	20 48	49 40,0	1,79	0,481	0,40	F5
52	20 50	50 10,0	9,22	0,408	0,17	F0
53	20 17	50 08,0	9,99	0,516	0,06	F6
54	19 55	50 30,0	8,94	1,253	1,15	G6
55	21 47	50 36,7	10,31	0,433	0,26	A7
56	22 26	50 30,7	11,43	0,651	0,16	G3
57	22 23	49 37,0	8,95	0,331	0,25	A5
58	23 00	49 43,6	10,02	0,772	0,32	G3
59	22 46	49 15,0	11,31	0,701	0,20	G3
60	24 26	48 53,5	11,10	0,683	0,12	G0
61	25 00	48 45,5	9,66	0,446	0,04	F5
62	23 07	48 35,7	9,72	0,472	0,02	F5
63	23 17	48 36,8	10,30	0,551	0,04	F8
64	23 27	48 36,3	9,94	0,499	0,04	F6
65	24 12	48 01,0	7,95	0,104	0,11	A0
66	25 32	48 07,5	7,36	0,007	−0,12	B9
67	25 31	48 00,7	10,03	0,492	0,03	F3
68	25 49	48 02,3	9,99	0,588	0,07	F7
69	26 13	47 56,4	10,38	0,483	0,08	F1
70	26 08	47 48,0	7,66	0,103	0,06	A0
71	26 52	47 27,5	8,78	0,276	0,19	A0
72	26 56	47 56,0	5,82	−0,040	−0,30	B9
73	28 30	47 50,0	5,46	−0,104	−0,54	B8
74	26 46	48 18,0	8,79	0,276	0,15	A3
75	28 28	48 25,0	8,19	0,187	0,13	—
76	28 18	48 34,5	6,62	−0,028	−0,30	B9
77	28 20	48 21,4	10,41	0,566	0,03	F7
78	27 55	48 49,4	10,06	0,639	0,10	F8
79	26 08	48 49,5	9,21	0,517	0,02	F7
80	26 10	48 58,5	8,52	0,312	0,08	F1
81	26 20	49 03,5	7,28	0,092	0,01	A0
82	25 05	49 13,0	8,41	0,173	0,12	A3
83	25 42	49 20,0	4,66	−0,098	−0,54	B5
84	25 20	49 41,5	5,58	−0,044	−0,43	B5
85	24 42	49 47,5	8,09	0,166	0,11	A0
86	25 00	50 07,5	10,06	0,546	0,07	F5

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	$B-V$	$U-B$	Sp
87	$3^h23^m37^s$	50°42′,3	$10^m,17$	$0^m,546$	$0^m,03$	F7
88	26 28	50 52,5	10,73	0,685	0,52	A7
89	30 39	50 06,8	9,48	0,399	0,29	A2
90	28 08	49 54,9	11,41	0,585	0,22	F1
91	27 50	49 44,0	8,75	0,261	0,20	A4
92	28 23	49 42,5	9,20	0,392	0,15	F0
93	27 39	49 32,0	8,59	0,199	0,15	A5
94	28 09	49 21,4	9,62	0,430	—	F5
95	30 40	48 27,0	7,34	0,027	−0,10	A0
96	30 39	47 07,5	9,23	0,210	0,10	A0
97	32 25	46 57,0	6,89	−0,020	−0,29	B9
98	33 55	48 02,0	4,20	−0,080	−0,54	B5p
99	33 27	48 36,0	11,19	0,723	0,19	F7
100	33 40	49 31,1	10,20	0,353	0,26	A2
101	35 20	49 13,5	9,05	1,059	0,79	G6
102	34 06	47 57,5	8,88	0,492	0,03	F7
103	33 30	47 06,0	7,68	1,768	2,19	K5
104	33 43	47 11,0	9,17	0,426	0,17	F3
105	34 34	47 26,0	7,45	0,004	−0,08	B9
106	33 21	50 47,0	11,52	0,638	0,18	F5

IC 4665

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	$B-V$	$U-B$	Sp
1	$17^h41^m25^s$	$+5°\ 52',2$	$8^m,05$	$+0^m,071$	$-0^m,17$	A0
2	41 44	15,9	7,83	1,279	+1,10	
3	41 49	44,4	8,31	0,056	−0,16	A2
4	42 18	13,3	9,68	1,270	1,04	G7
5	42 34	32,6	9,39	0,314	0,17	A1
6	42 34	52,8	10,21	1,292	1,27	
7	42 49	41,8	9,08	0,186	0,01	A0
8	42 54	35,0	10,10	0,122	0,01	
9	43 07	43,9	7,68	0,031	−0,42	B9
10	43 08	26,9	9,10	0,264	0,10	A0
11	43 11	13,0	9,87	0,351	0,18	A2
12	43 29	55,6	7,50	0,128	0,07	A0
13	43 30	42,5	7,59	0,002	−0,49	B8
14	43 40	32,8	6,85	0,011	−0,54	B7
15	43 43	40,4	7,34	0,020	−0,46	B8
16	43 52	57,2	10,61	0,452	0,15	F2
17	43 59	43,4	8,82	0,237	0,13	A0
18	43 59	24,8	7,94	0,449	−0,01	F3
19	44 05	18,6	10,28	1,272	1,07	G9
20	44 14	47,1	7,12	0,018	−0,48	B7
21	44 19	34,5	8,22	0,113	−0,30	A0
22	44 19	13,1	10,66	0,562	0,37	A2
23	44 31	26,8	8,89	0,106	−0,27	A3
24	44 35	42,6	8,01	0,058	−0,44	A0
25	44 35	42,6	10,23	0,31	0,18	A0
26	44 40	13,0	10,75	0,368	0,22	
27	44 40	31,4	9,81	0,676	0,23	
28	44 53	45,9	9,86	0,238	0,12	A0
29	45 01	36,6	8,33	1,728	2,06	K5
30	45 10	07,0	10,20	0,272	0,16	
31	45 20	22,3	8,40	1,232	1,04	
32	45 48	30,0	10,67	0,512	0,25	
33	45 54	19,0	8,96	1,245	1,07	
34	46 17	42,2	7,49	0,016	−0,41	B9
35	41 38	6 05,1	7,43	0,334	0,15	

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	$B-V$	$U-B$	Sp
36	$17^h42^m58^s$	6° 00′,5	9^m,80	0^m,560	—	
37	43 46	06,6	11,33	0,527	-0^m,05	
38	44 03	15,1	7,89	1,028	0,77	G7
39	44 11	08,1	7,74	—0,009	—0,55	
40	44 00	5 48,1	10,41	0,301	0,18	A2
41	43 47	6 00,0	10,56	0,356	0,24	A0
42	44 48	10,8	10,39	0,530	—	F8
43	45 07	04,0	11,58	0,490	—	F7
44	42 28	5 26,5	10,73	0,531	0,10	F0
45	41 17	26,6	8,78	0,071	—0,21	A0
46	41 27	35,3	9,34	1,251	1,26	G7
47	43 32	49,7	11,13	0,481	0,07	A

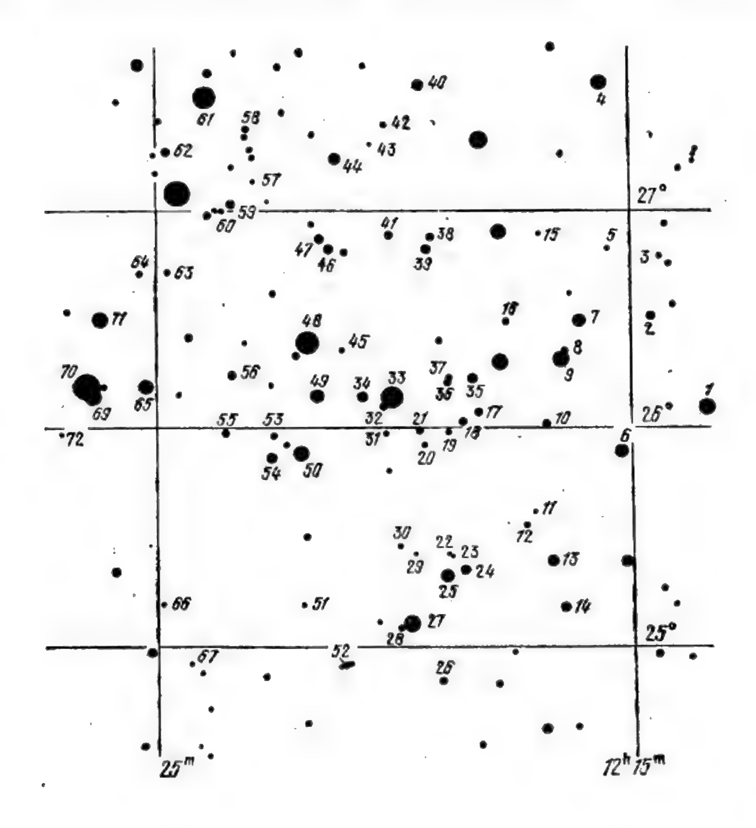


Волосы Вероники

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	$B-V$	$U-B$
1	$12^h13^m30^s$	+26° 05′,5	8^m,08	0^m,40	-0^m,05
2	14 37	26 31,0	9,87	0,65	0,21
3	14 25	26 47,5	11,16	0,47	−0,02
4	15 35	27 35,0	7,48	0,14	0,06
5	15 30	26 49,7	11,80	0,55	−0,02
6	15 12	25 53,0	7,85	0,35	−0,03
7	16 04	26 29,0	7,58	0,45	0,00
8	16 22	26 21,0	11,70	0,94	0,55
9	16 28	26 18,5	6,48	0,18	0,09
10	16 50	26 01,0	10,34	0,41	−0,03
11	17 02	25 37,0	11,35	0,44	−0,06
12	17 12	25 33,0	10,05	1,14	1,13
13	16 41	25 23,0	7,79	0,30	0,10
14	16 25	25 10,3	8,80	0,50	0,03
15	16 57	26 53,8	11,68	0,52	0,05
16	17 38	26 29,5	10,38	0,62	0,03
17	18 12	26 04,0	9,05	0,57	0,05
18	18 33	26 01,7	8,06	1,06	0,95
19	18 52	25 58,2	10,27	0,53	−0,02
20	19 22	25 55,5	10,66	0,36	−0,07
21	19 27	25 59,2	9,55	0,44	0,04
22	18 53	25 25,0	11,50	0,57	0,04
23	18 49	25 24,5	11,51	0,46	−0,01
24	18 32	25 21,0	7,29	0,88	0,59
25	18 56	25 19,0	7,44	0,28	0,02
26	19 01	24 51,0	8,90	0,46	−0,03
27	19 41	25 06,0	6,20	0,00	−0,05
28	19 54	25 05,2	11,59	0,44	−0,05
29	19 36	25 25,0	10,35	0,90	0,52
30	19 56	25 26,8	10,87	0,59	0,13
31	20 10	25 58,0	10,47	0,71	0,27
32	20 12	26 05,8	8,57	0,51	0,00
33	20 02	26 08,0	4,81	—	—
34	20 40	26 08,5	9,10	0,57	0,01
35	18 20	26 13,5	9,11	0,11	0,12
36	18 52	26 12,2	10,95	0,53	−0,01
37	18 51	26 14,0	10,23	0,56	0,05
38	19 10	26 53,6	8,64	0,95	0,71
39	19 17	26 50,0	9,30	0,59	0,05
40	19 25	27 34,2	8,52	0,47	−0,02
41	20 03	26 53,6	7,86	1,34	1,61
42	20 08	27 23,5	8,45	1,42	1,71
43	20 26	27 19,0	11,47	0,54	0,05
44	21 10	27 15,0	8,37	0,45	−0,33
45	21 50	26 21,8	10,37	1,19	1,24
46	20 59	26 50,5	9,11	0,48	0,03
47	21 10	26 52,5	9,34	0,62	0,08
48	21 48	26 23,7	5,18	0,08	0,10
49	21 36	26 00,0	6,69	0,22	0,05
50	21 59	25 53,0	6,42	0,27	0,07
51	21 58	25 12,0	11,21	0,51	0,06
52	21 03	24 55,0	7,41	1,06	0,94
53	22 31	25 58,0	10,28	0,29	0,03

Продолжение

№	α_{1950}	δ_{1950}	V	$B-V$	$U-B$
54	$12^h22^m35^s$	$+25°\ 52',0$	$8^m,13$	$0^m,52$	$0^m,01$
55	23 34	25 58,5	8,24	1,09	1,07
56	23 22	26 15,0	9,30	0,46	−0,03
57	22 55	27 08,0	11,26	0,57	0,00
58	23 02	27 22,8	9,67	1,09	0,99
59	23 22	27 02,0	8,36	0,44	−0,04
60	23 37	27 00,0	9,75	0,80	0,29
61	23 55	27 32,0	4,95	0,27	0,18
62	24 48	27 17,0	8,25	1,03	0,89
63	24 48	26 44,0	11,08	0,44	−0,02
64	25 21	26 43,8	11,30	0,46	−0,05
65	25 11	26 12,0	6,71	0,19	0,09
66	24 54	25 12,0	10,10	0,80	0,41
67	24 20	24 55,8	10,61	1,02	0,81
69	26 20	26 09,0	6,65	0,22	0,08
70	26 30	26 12,0	5,29	−0,06	−0,10
71	26 14	26 30,5	6,54	0,16	0,13
72	27 02	25 58,3	11,03	0,51	0,02



ПРИЛОЖЕНИЕ VII

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОДЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Международный код задания на выполнение наблюдений (САТАТ)

Этот код и следующий задаются в виде нескольких групп цифр, например:

САТАТ 10420 79034 00179 2511N 19036
28419 19040 25323

Как в этом коде, так и в коде САТЕВ первые три группы цифр означают одно и то же с небольшими отличиями.

Первая группа цифр — это условный номер пункта наблюдения (шифром 1042 обозначается Рязанская оптическая станция Астросовета АН СССР при Рязанском гос. пед. ин-те), последняя цифра группы в данном коде — всегда нуль;

во второй группе первые две цифры — последние цифры года запуска космического объекта, последние три — номер запуска в году по данным КОСПАР;

в третьей группе первые три цифры — номер фрагмента космического аппарата (001 — спутник, 002 — ракета-носитель, 003 — деталь); две последние цифры третьей группы этого кода — контрольная сумма цифр, следующих после нее;

в четвертой группе первые две цифры — дата наблюдений, следующая за ними первая единица означает точность эфемериды по времени (1^m), а вторая — точность по положению (1°), N — эфемеридная звездная величина минус 3 ($N = m - 3$);

в пятой группе первые четыре цифры — время прохождения ИСЗ первой эфемеридной точки (19^h03^m) и последняя — фотометрическая группа (см. таблицу на с. 000 и рис. 171);

шестая группа — координаты первой точки (азимут $A = 284°$, высота $h = 19°$);

седьмая группа — время прохождения второй точки (19^h04^m), последняя цифра всегда нуль;

восьмая группа — координаты второй точки ($A = 253°$, $h = 23°$).

Эфемериды ИСЗ даются только в горизонтальной системе координат. Для наблюдений в экваториальной системе необходимо произвести перевычисление A и h в α и δ (см. § 8, гл. 1).

Международный код результатов наблюдений ИСЗ (САТЕВ)

а) горизонтальная система координат.

Рассмотрим пример:

САТЕВ 10427 79096 00100 20419 00443 81000
81700 19230 46560

О первых трех группах кода см. в описании кода САТАТ. Отличия заключаются в следующем: в первой группе последняя цифра означает визуальные наблюдения в какой-либо инструмент (7 — короткофокусный телескоп, например, АТ-1, ТЗК, БМТ и др., 8 — теодолит любого типа); в третьей группе последние две цифры всегда нули.

В четвертой группе цифра 2 означает наблюдения в горизонтальной системе координат, остальные цифры — дата (номер месяца в году и число — 19 апреля);

в группах с пятой по восьмую, как для горизонтальной, так и для экваториальной системы координат, — время наблюдения и координаты объекта: $00^h44^m38^s,1$; средняя цифра шестой группы всегда нуль; $A = 008°\ 17'$; две по-

следние цифры седьмой группы всегда нули; $h = 19° 23'$; последняя цифра — нуль;

в девятой группе кодов а) и б) цифра 4 показывает точность измерения времени $(0^s,1)^*$), цифра 6 на втором месте — точность измерения по положению (не превышает $5'$ в горизонтальной системе и 20^s в экваториальной) **), третья цифра — показатель звездной величины N $(m = N + 3 = 5 + 3 = 8^m)$, четвертая цифра — фотометрическая группа и пятая — всегда нуль.

б) экваториальная система координат.

САТЕВ 10104 78082 00200 31229 21145 22022
03300 62300 46510

Здесь последняя цифра первой группы также означает способ наблюдения (4 — стационарный астрономический телескоп, 5 — наблюдения невооруженным глазом или в бинокль, 6 — малый телескоп); в третьей группе последние две цифры — нули.

В четвертой группе цифра 3 означает наблюдения в экваториальной системе координат (α и δ отнесены к эпохе 1950,0), остальные — дата (29 декабря).

Расшифровка остальных групп: время $21^h14^m52^s,2$, $\alpha = 22^h03^m30^s$, $\delta = +62° 30',0$ (знак склонения показывает последняя цифра седьмой группы: 0 — северное, 1 — южное).

При наблюдении ИСЗ во второй точке после приведенного текста указываются время и координаты второй точки, точность измерений по времени и положению, звездная величина и фотометрическая группа ИСЗ. В конце сообщения ставятся слово «конец» и подпись.

Примечание: КОСПАР (COSPAR) — международный комитет по исследованию космического пространства, учрежденный в октябре 1958 г. на Генеральной Ассамблее Международного совета научных обществ (ICSU). КОСПАР имеет консультативный статус в Комитете по мирному использованию космоса в ООН (5.62.11.76).

САТАТ (SATAT) — международное кодовое слово, означающее, что телеграмма содержит данные целеуказаний.

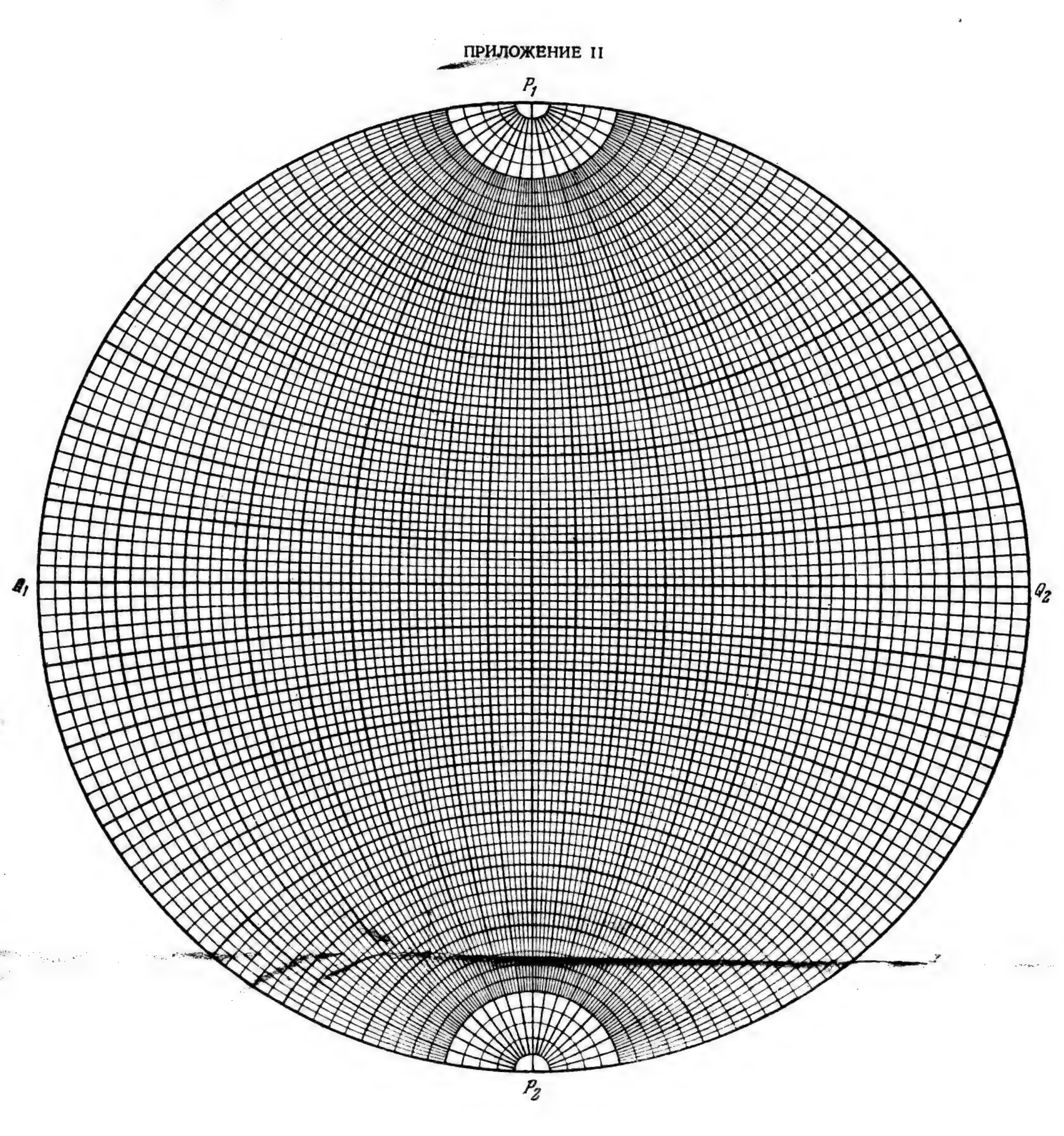
САТЕВ (SATEV) — международное кодовое слово, означающее, что последующий текст является сообщением о результатах наблюдений космических объектов.

---

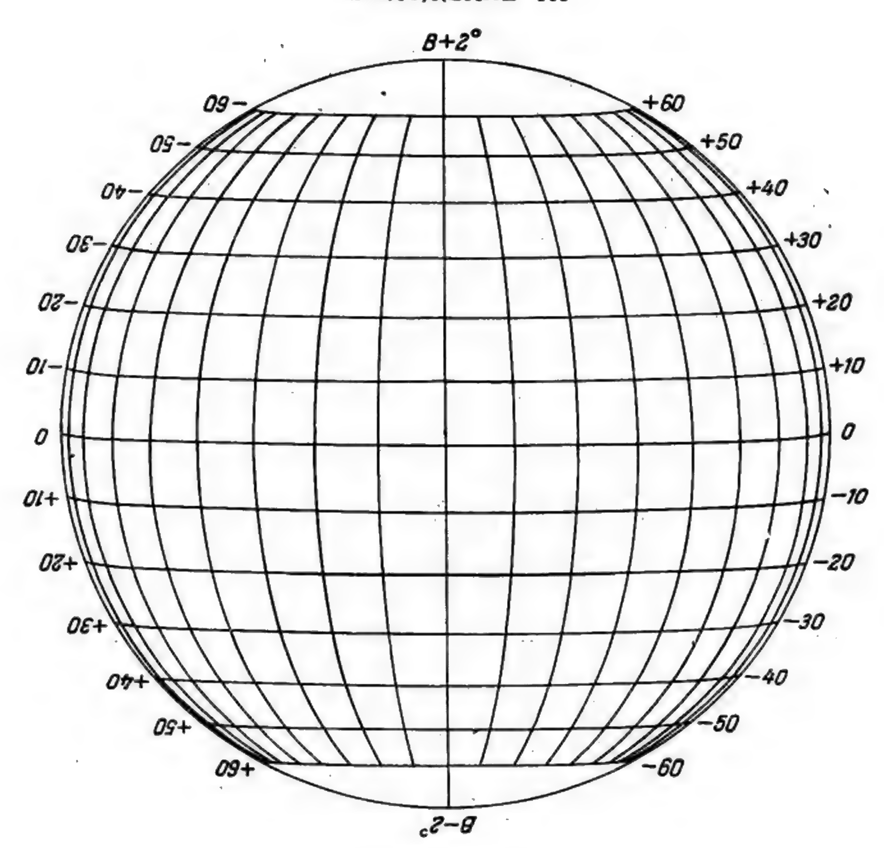
*) Точность измерения времени обозначается следующими цифрами: 3 — точность $0^s,05$; 4 — $0^s,1$; 5 — $0^s,2$; 6 — $0^s,5$; 7 — $1^s,0$.

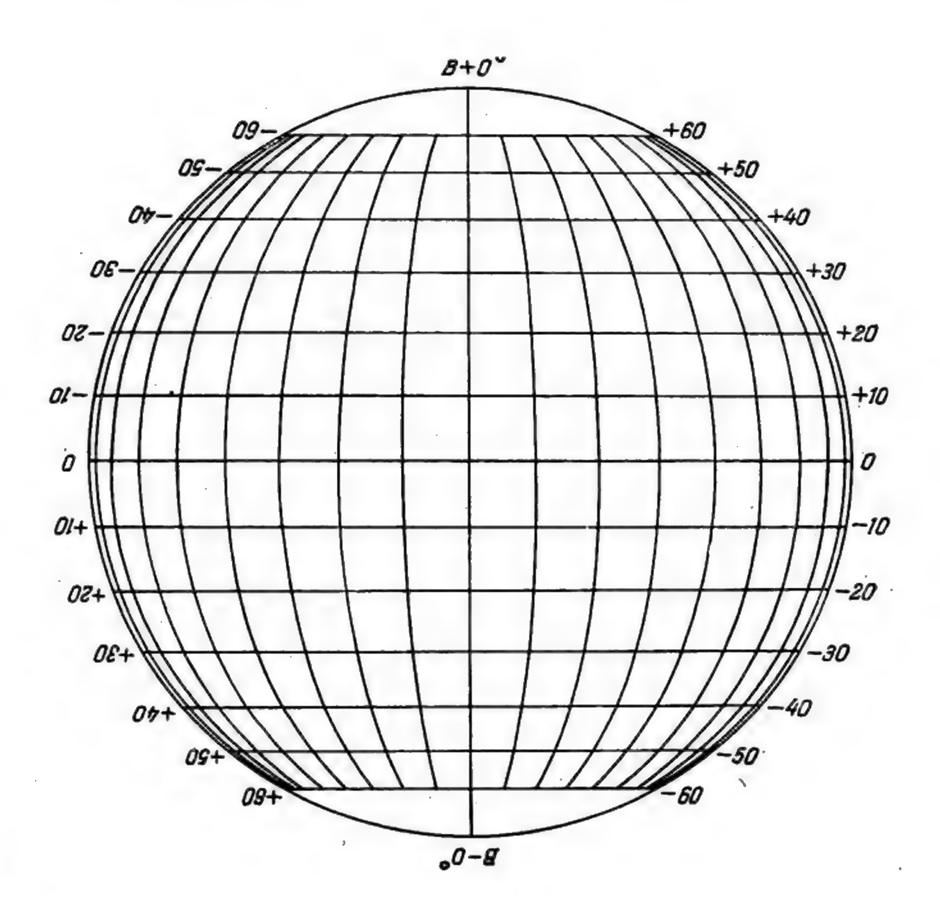
**) Точность измерения по положению: 4 — $1'$ или 4^s; 5 — $2'$ или 8^s; 6 — $5'$ или 20^s; 7 — $10'$ или 40^s; 8 — $20'$ или 2^m; 9 — $1°$ или 4^m.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

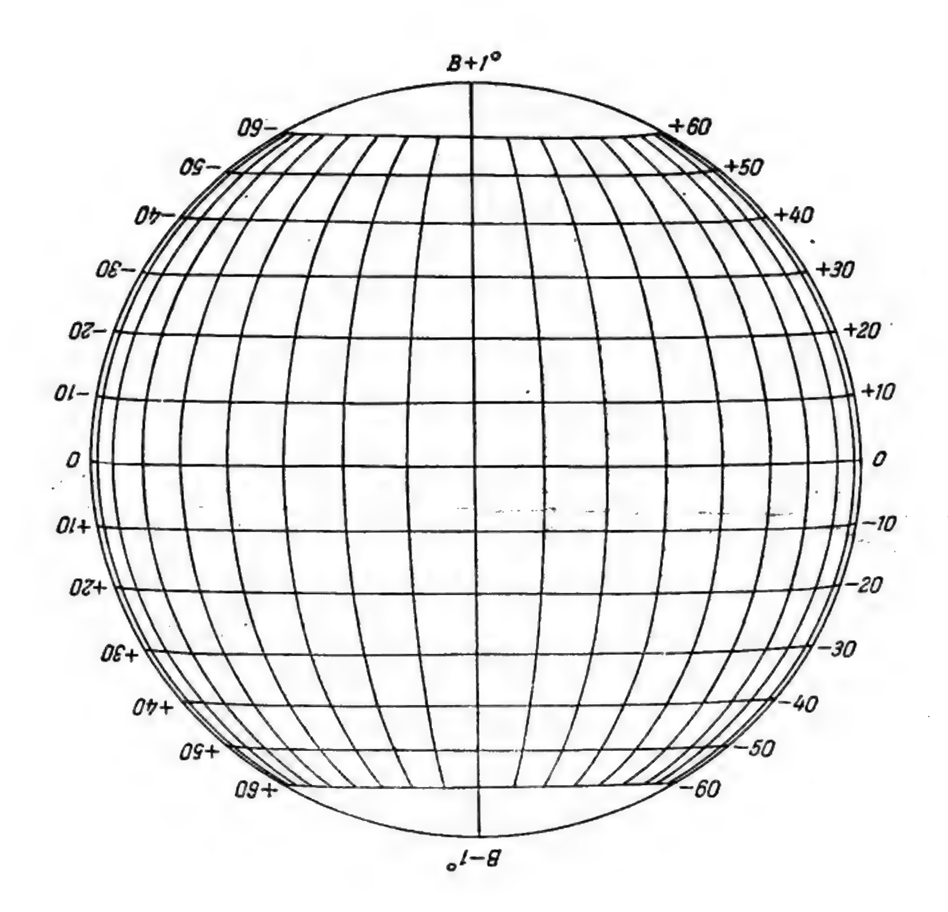

P_1
Q_1
Q_2
P_2

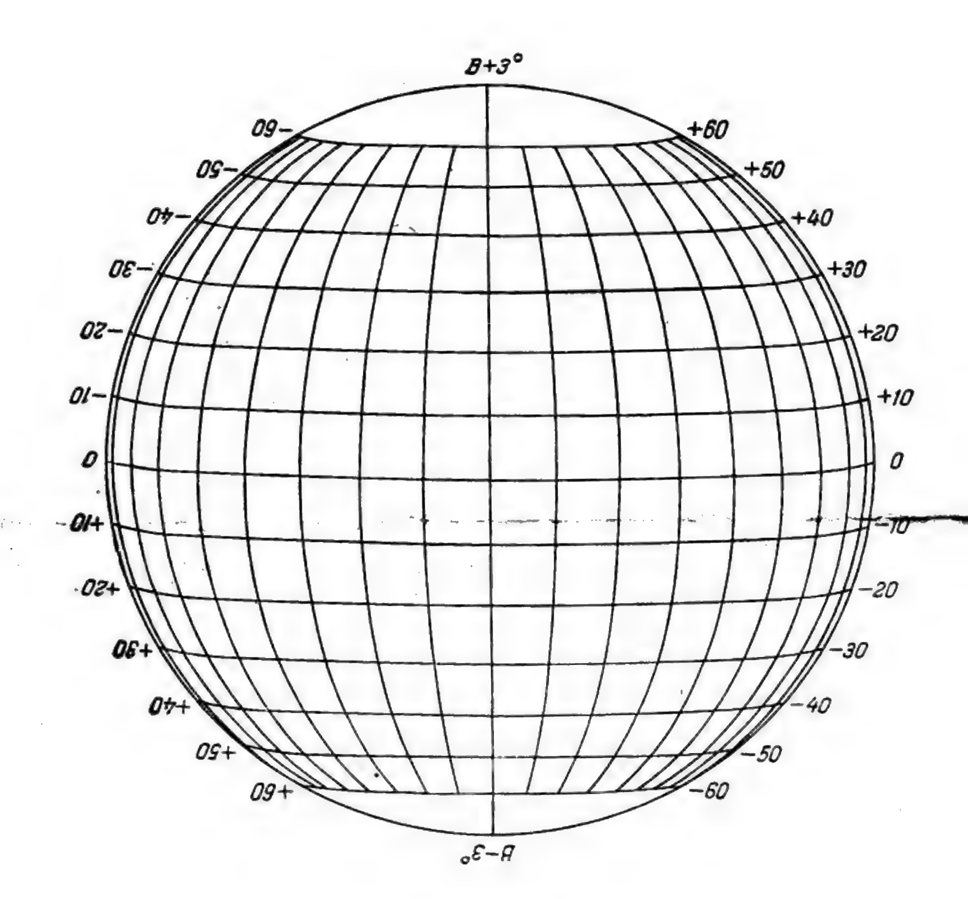
ПРИЛОЖЕНИЕ III



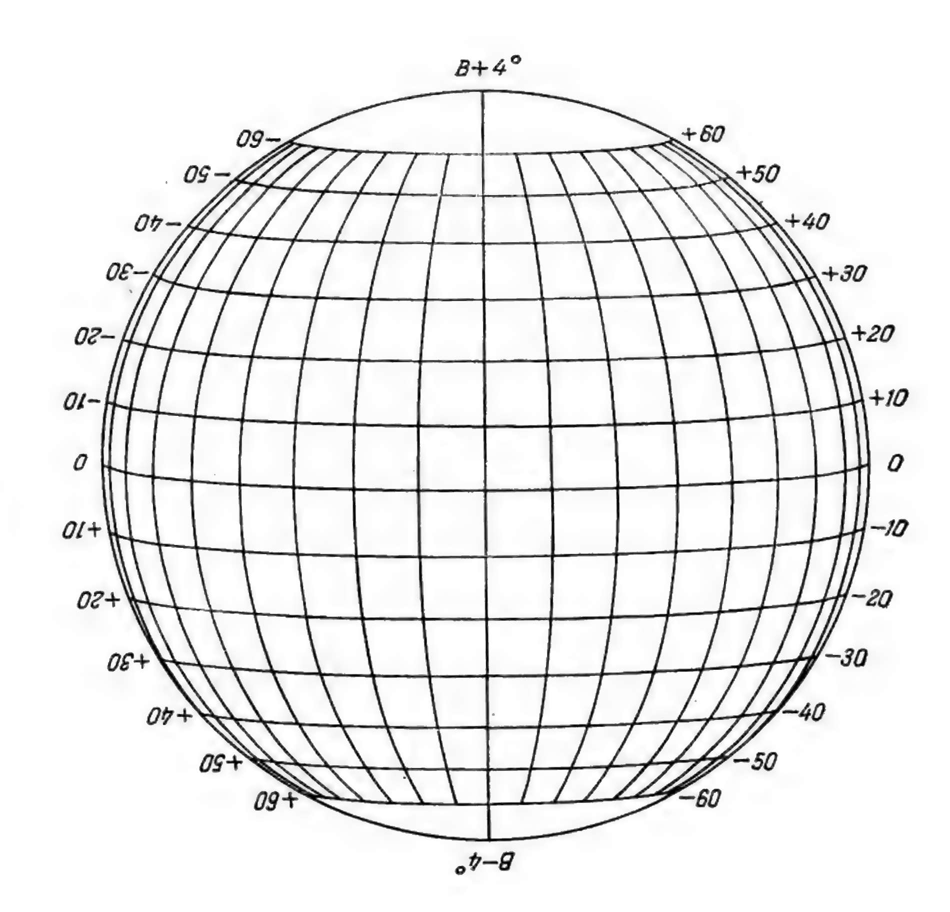


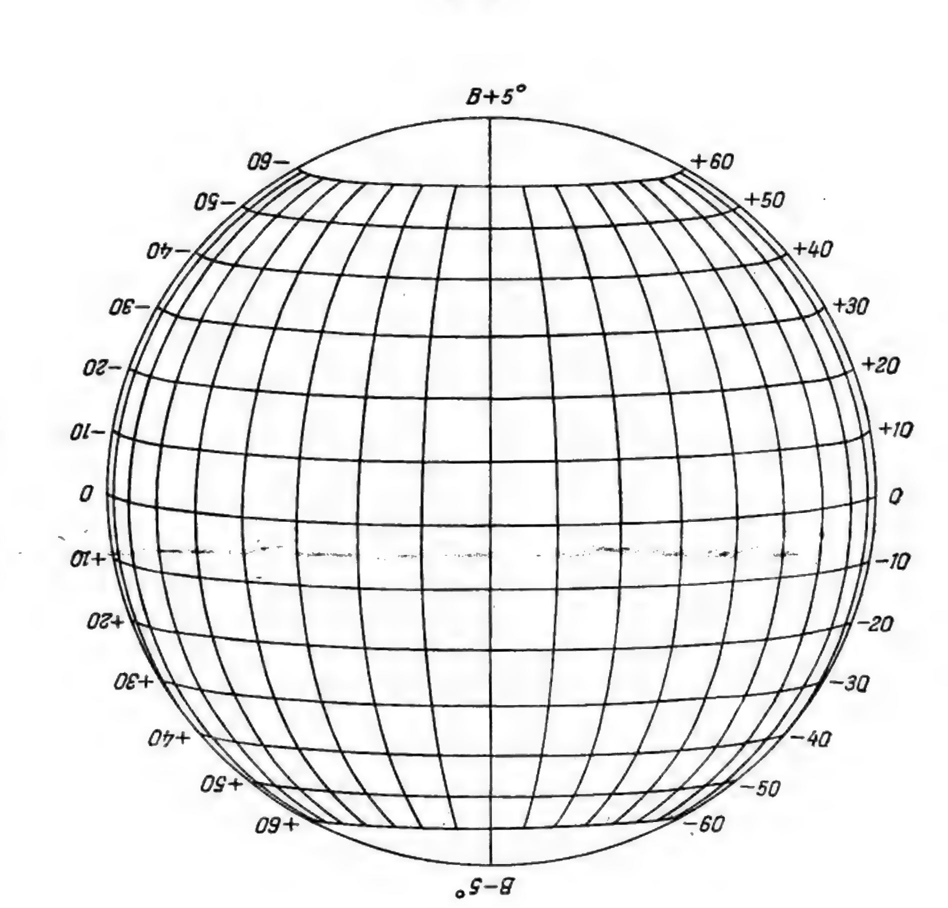
B+0°
+60
+50
+40
+30
+20
+10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−60
−50
−40
−30
−20
−10
0
+10
+20
+30
+40
+50
+60
B−0°

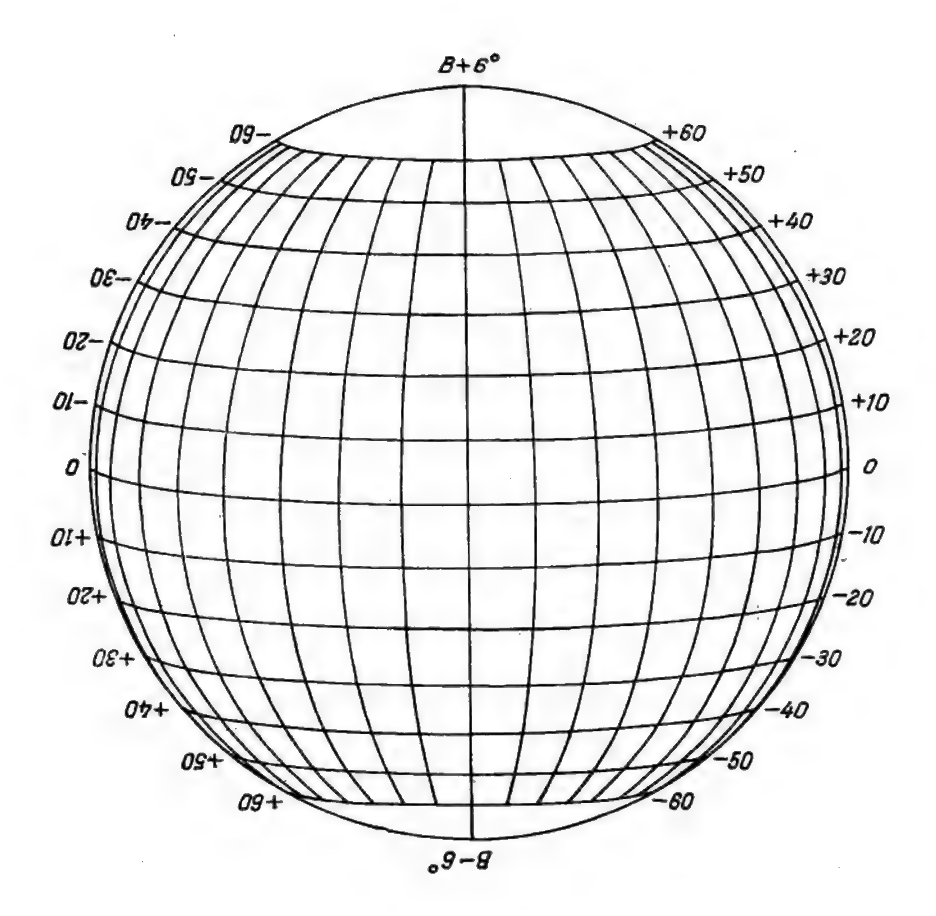

B+1°
+60
+50
+40
+30
+20
+10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−60
−50
−40
−30
−20
−10
0
+10
+20
+30
+40
+50
+60
B−1°



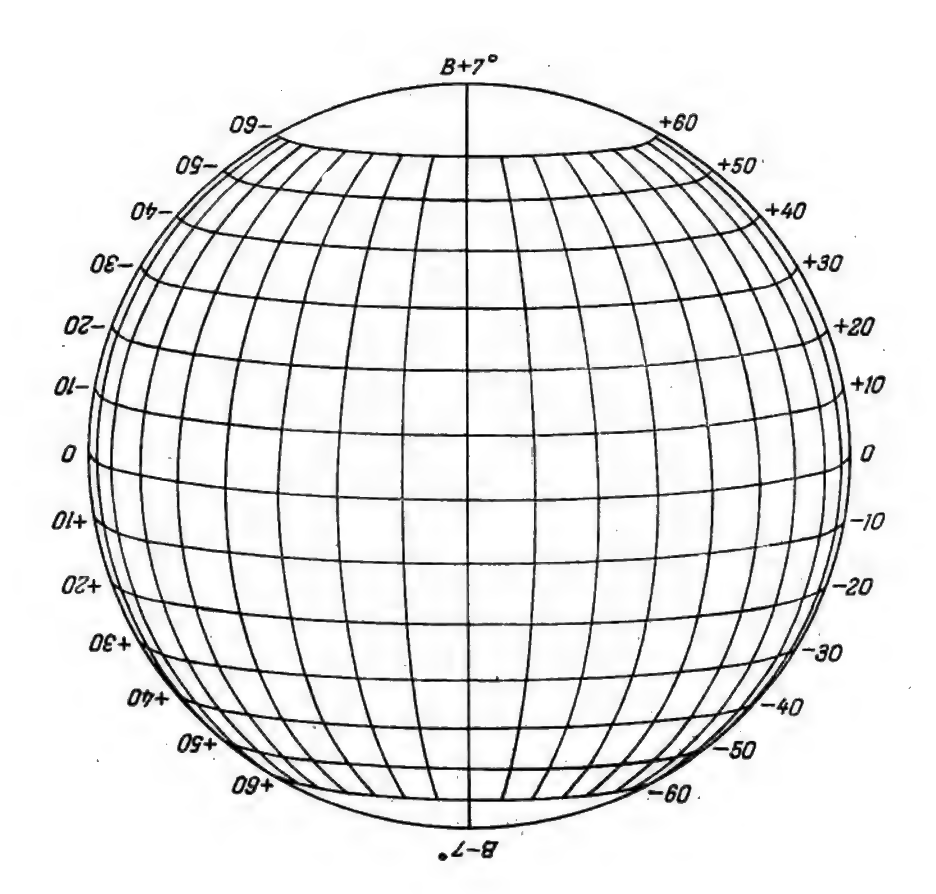
B+3°
+60
+50
+40
+30
+20
+10
0
−10
−20
−30
−40
−50
−60
−60
−50
−40
−30
−20
−10
0
+10
+20
+30
+40
+50
+60
B−3°


B+4°
−60
+60
−50
+50
−40
+40
−30
+30
−20
+20
−10
+10
0
0
+10
−10
+20
−20
+30
−30
+40
−40
+50
−50
+60
−60
B−4°


B+5°
+60
+50
+40
+30
+20
+10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60

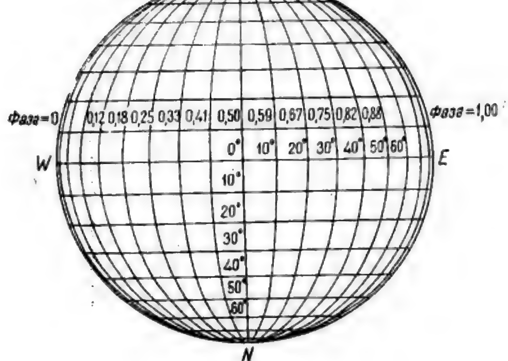


B+6°
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0
+10
+20
+30
+40
+50
+60
+60
+50
+40
+30
+20
+10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
B-6°


B+7°
-60
-50
-40
-30
-20
-10
0
+10
+20
+30
+40
+50
+60
+60
+50
+40
+30
+20
+10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
B-7°

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

S
−40° −30° −20° λ−10° λ λ+10° +20° +30° +40°
−30° −30°
−20° −20°
−10° −10°
W 0° 0° E
10° 10°
20° 20°
30° 30°
40° 40°
−40° −30° −20° λ−10° λ λ+10° +20° +30° +40°
N



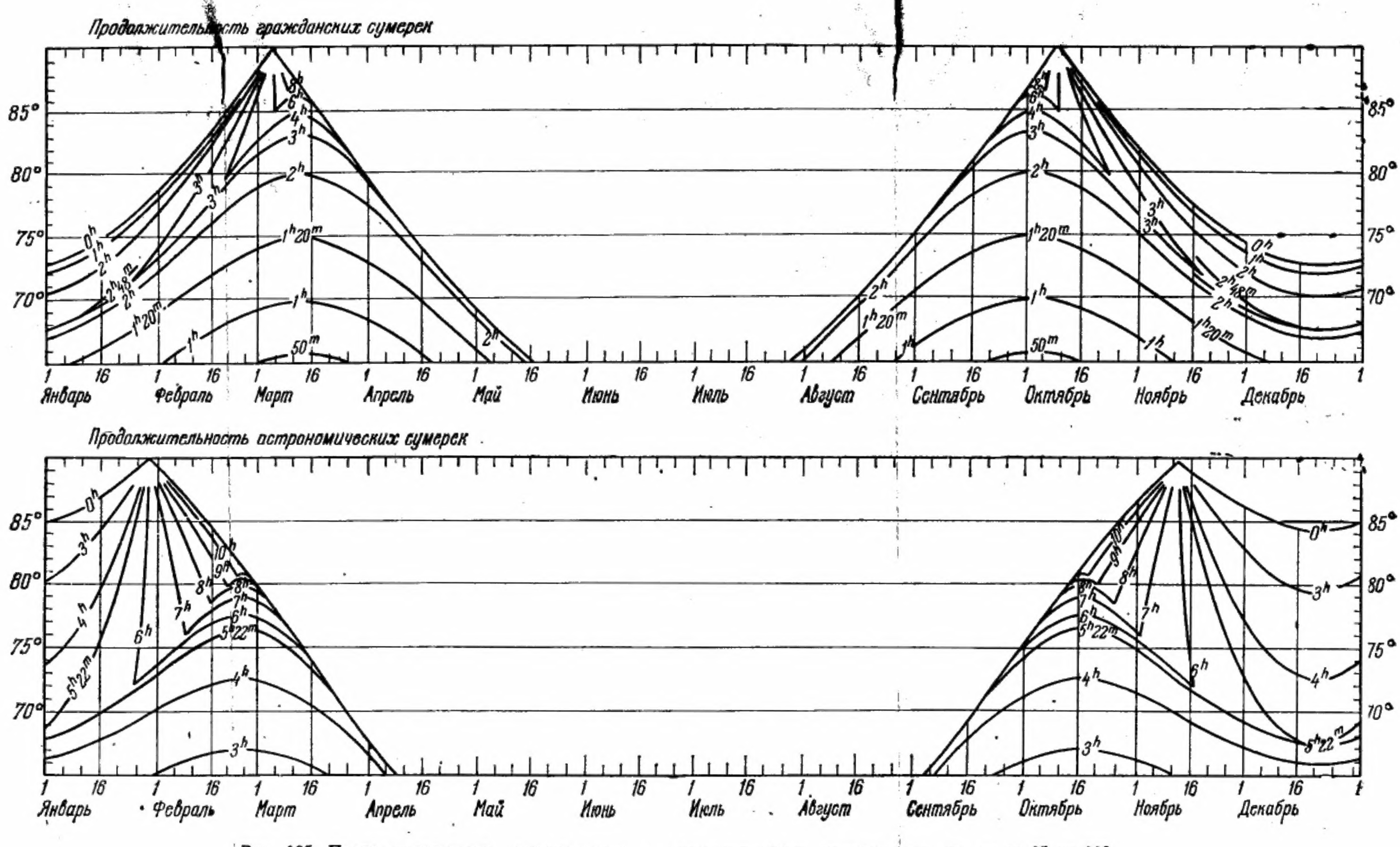


Рис. 195. Продолжительность гражданских и астрономических сумерек для широт от 65 до 90°.

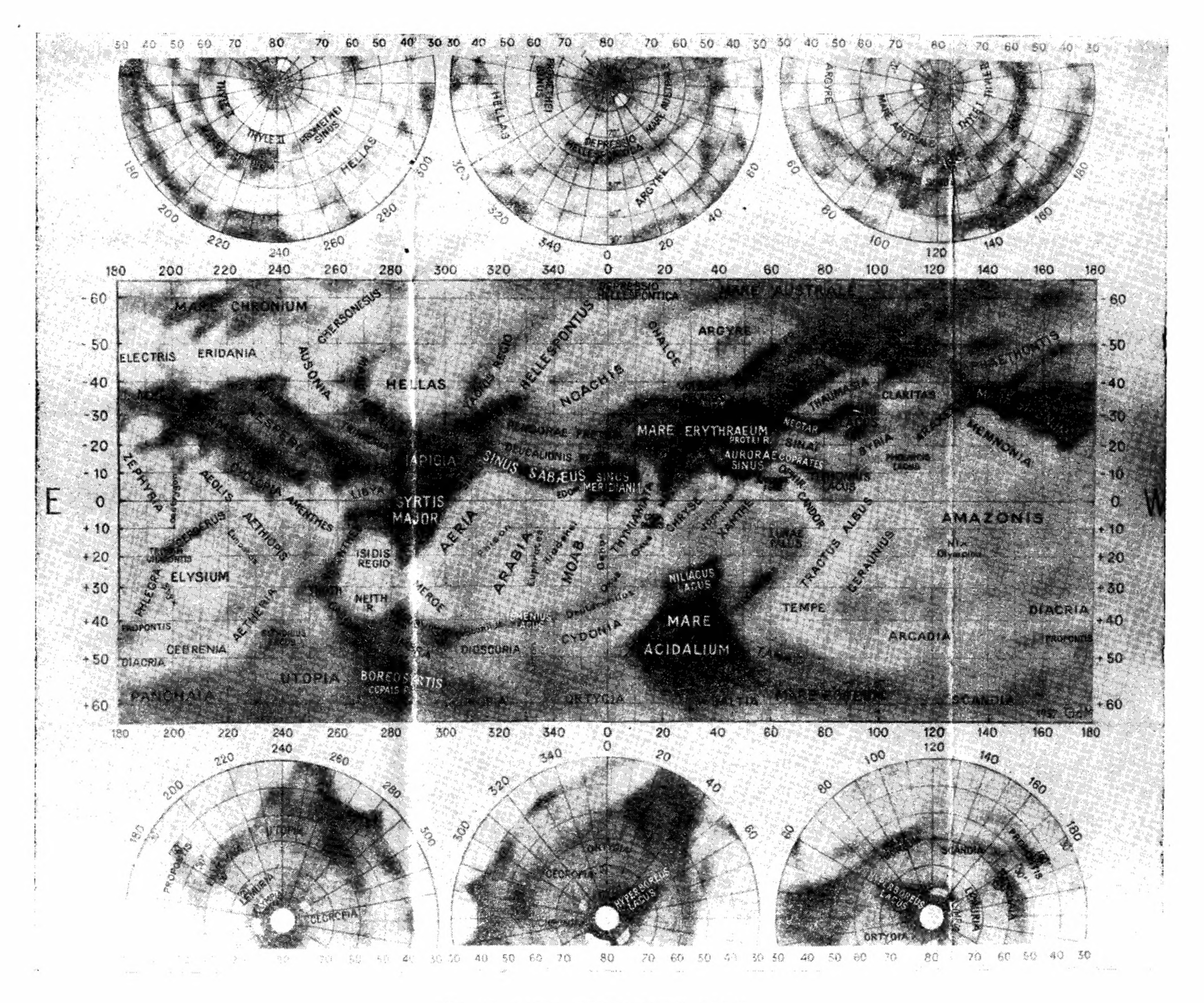
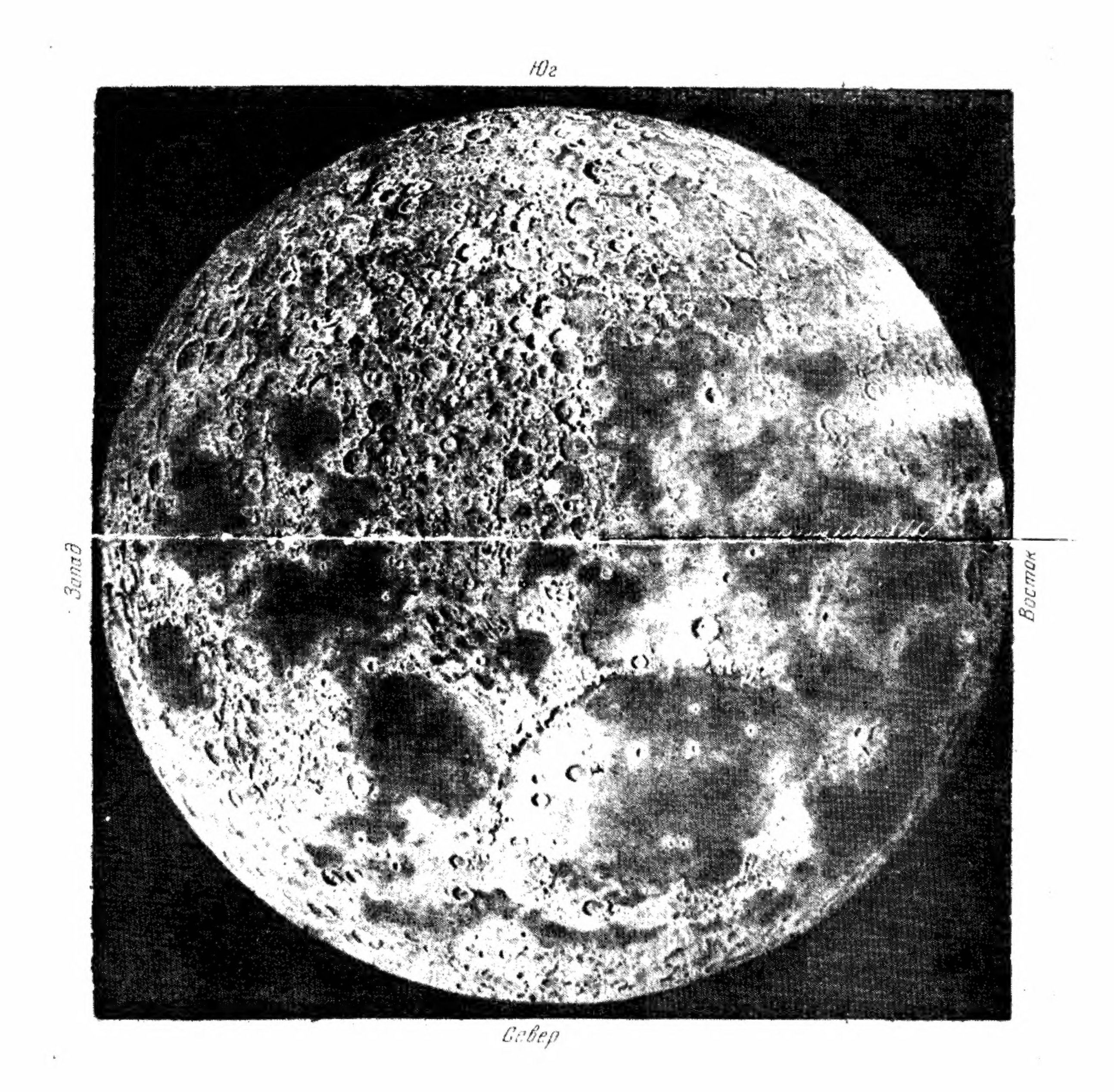


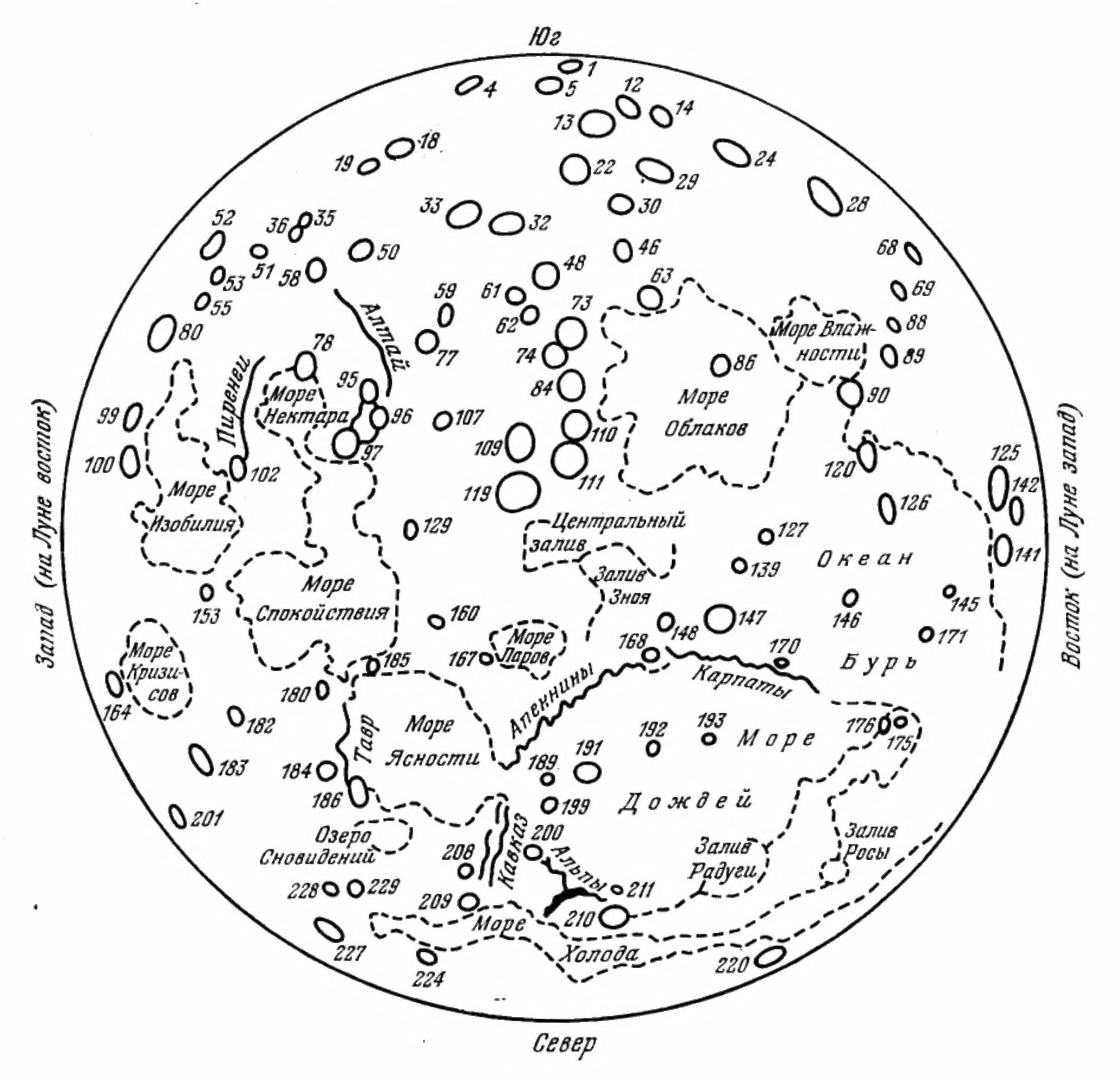
РИС. 197. КАРТА ПОВЕРХНОСТИ МАРСА

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ КАРТА ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ.



Вкладка № 3.

КРУПНЫЕ ДЕТАЛИ ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ
(ЭТУ ВКЛАДКУ РЕКОМЕНДУЕТСЯ СКОПИРОВАТЬ НА КАЛЬКУ)



Вкладка № 4.